

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Experimentální hodnocení stavu ostří při
nepravidelném přerušovaném řezu
Experimental Evaluation of Cutting Edge
Condition at Irregular Interrupted Cut

Student:

Bc. Martin Sopuch

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Robert Čep, Ph.D.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Sopuch**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: Experimentální hodnocení stavu ostří při nepravidelném přerušovaném řezu
Experimental Evaluation of Cutting Edge Condition at Irregular Interrupted Cut

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Metody hodnocení nástrojů při přerušovaném řezu.
3. Návrh experimentu.
4. Vyhodnocení experimentálních prací.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] HAVRILA, M.; ZAJAC, J.; BRYCHTA, J.; JURKO, J. *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [5] VASILKO, K.; HAVRILA, M.; MARCINCIN-NOVÁK, J.; MÁDL, J.; ZAJAC, J. *Top trendy v obrábění, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80-968954-2-7.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřisežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 11. 5. 2012



Bc. Martin Sopuch

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 11.5.2012


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Martin Sopuch

Adresa trvalého pobytu autora práce: Ženklava 237, 742 67

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

SOPUCH, M. *Experimentální hodnocení stavu ostří při nepravidelném přerušovaném řezu: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2012, 56 s. Vedoucí práce: Ing. Robert Čep, Ph.D.

Cílem této diplomové práce bylo testování nástrojů z řezné keramiky při soustružení v podmínkách přerušovaného řezu. V úvodní teoretické části jsou popsány keramické řezné materiály a přehled metod při testování přerušovaným řezem. V praktické části je popsán samotný experiment, včetně řezných parametrů. Jsou zde uvedeny výsledky sledování počtu rázů a parametry drsnosti střední aritmetické úchylky profilu Ra a nejvyšší výšky profilu Rz. Testovány byly dva druhy keramických řezných destiček (Saint – Gobain Advanced Ceramics, typ D420 a Tungaloy America, typ LX11. Měření probíhalo na materiálu C45 (dle ČSN 12 050).

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

SOPUCH, M. *Experimental Evaluation of Cutting Edge Condition at Irregular Interrupted Cut: Diploma Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2012, 56 p. Thesis head: Ing. Robert Čep, Ph.D.

The goal of this diploma thesis was to test ceramic cutting tools at interrupted cut settings by turning. In the introductory theoretical section describes ceramic cutting materials and summary of methods for testing intermittent cutting. In the practical part is described the experiment, including cutting parameters. Here are the results of watch the shock number and parameters of median arithmetic deviation of profile Ra and maximum height of profile Rz. It was tested two types of ceramic cutting tools (Saint – Gobain Advanced Ceramics, type D420 and Tungaloy America, type LX11. Measurement was done on material C45 (ČSN 12 050).

OBSAH

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ, SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	3
ÚVOD A CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	5
1 ŘEZNÁ KERAMIKA.....	6
1.1 Rozdělení řezné keramiky	8
1.2 Použití řezné keramiky	10
1.2.1 Soustružení.....	10
1.2.2 Frézování.....	10
1.3 Vliv tepelných a mechanických rázů	11
1.3.1 Mechanický ráz.....	12
1.3.2 Tepelný ráz.....	12
2 METODY HODNOCENÍ NÁSTROJŮ PŘI PŘERUŠOVANÉM ŘEZU	13
2.1 Příčné soustružení (tzv. čepový test).....	13
2.2 Podélné soustružení (tzv. lištový test)	14
2.3 Válec s podélnými drážkami	16
2.4 Čelní frézování se silně přerušovaným řezem	17
2.5 Vodorovné obrázení	18
3 METODA ZKOUŠENÍ BŘITOVÝCH DESTIČEK.....	19
3.1 Řezné parametry.....	19
3.2 Soustružené lišty	20
3.3 Obráběcí stroj.....	21
3.4 Přípravek pro provedení přerušovaného řezu.....	22
3.5 Nástrojový držák.....	23
3.6 Vyměnitelné břitové destičky	23
3.7 Vyhodnocovací zařízení	25
3.8 Vyhodnocení počtu rázů.....	26
4 NAMĚŘENÉ HODNOTY A VYHODNOCENÍ	28
4.1 Přípravek se čtyřmi upnutými lištami	29
4.2 Přípravek se dvěma upnutými lištami	33
4.3 Přípravek se třemi upnutými lištami	37
4.4 Přípravek s jednou upnutou lištou	41
4.5 Porovnání metod mezi sebou	45
4.5.1 Porovnání metod se čtyřma a dvěma upnutými lištami	45
4.5.2 Porovnání metod se třema a jednou upnutou lištou	47
5 ZÁVĚR.....	49
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	52

SEZNAM OBRÁZKŮ	54
SEZNAM TABULEK	56

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ, SYMBOLŮ A ZKRATEK

Značení	Význam	Jednotka
D420	Typ řezné keramické destičky	-
LX11	Typ řezné keramické destičky	-
D	Obráběný střední průměr	mm
R	Počet rázů	-
HB	Tvrдость dle Brinella	-
HRC	Tvrдость dle Rockwella	-
VB	Šířka opotřebení na hřbetě nástroje	mm
PVD	Physical Vapour Deposition – fyzikální metoda nanášení povlaku	-
GAČR	Grantová agentura České republiky	
Ra	Střední aritmetická úchylka profilu	μm
Rz	Největší výška profilu	μm
x	Počet upnutých lišt	-
γ	Úhel čela	$^{\circ}$
λ_s	Úhel sklonu ostří	$^{\circ}$
κ_r	Úhel nastavení hlavního ostří	$^{\circ}$
ϵ_r	Úhel špičky	$^{\circ}$
v_c	Řezná rychlost	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$
f	Posuv	mm
a_p	Hloubka řezu	mm
n	Otáčky vřetene	min^{-1}
l	Obrobená délka	mm
n	Počet měření	-
x_i	Jednotlivé naměřené hodnoty veličiny	-
\bar{x}	Aritmetický průměr	-
u_A	Standardní nejistota typu A	-

$s(\bar{x})$	Směrodatná odchylka	-
--------------	---------------------	---

ÚVOD A CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Keramické řezné materiály jsou stále používanější a díky neustálému výzkumu a vývoji se jejich použitelnost ve strojírenské praxi zvyšuje. Zejména v oblasti obrábění přerušovaným řezem zaznamenaly keramické řezné materiály velký pokrok. Soustružení přerušovaným řezem je stav, kdy řezná destička vchází a vychází ze záběru, pravidelně nebo nepravidelně.

Nezbytnou součástí výroby vyměnitelných břitových destiček je zkoušení jejich trvanlivosti a životnosti. Jsou kladeny stále vyšší nároky na nástrojové materiály a výrobci řezných materiálů musí tyto nároky splnit.

Pro správnou funkci keramických řezných materiálů je potřeba zajistit vysokou tuhost systému stroj – obrobek – nástroj. Proto je potřeba se zaměřit i na tuto oblast. Neméně důležité je zvolit správný druh keramické destičky pro daný proces obrábění, správné parametry obrábění a optimalizovat celý proces pro potřeby užití keramické řezné destičky.

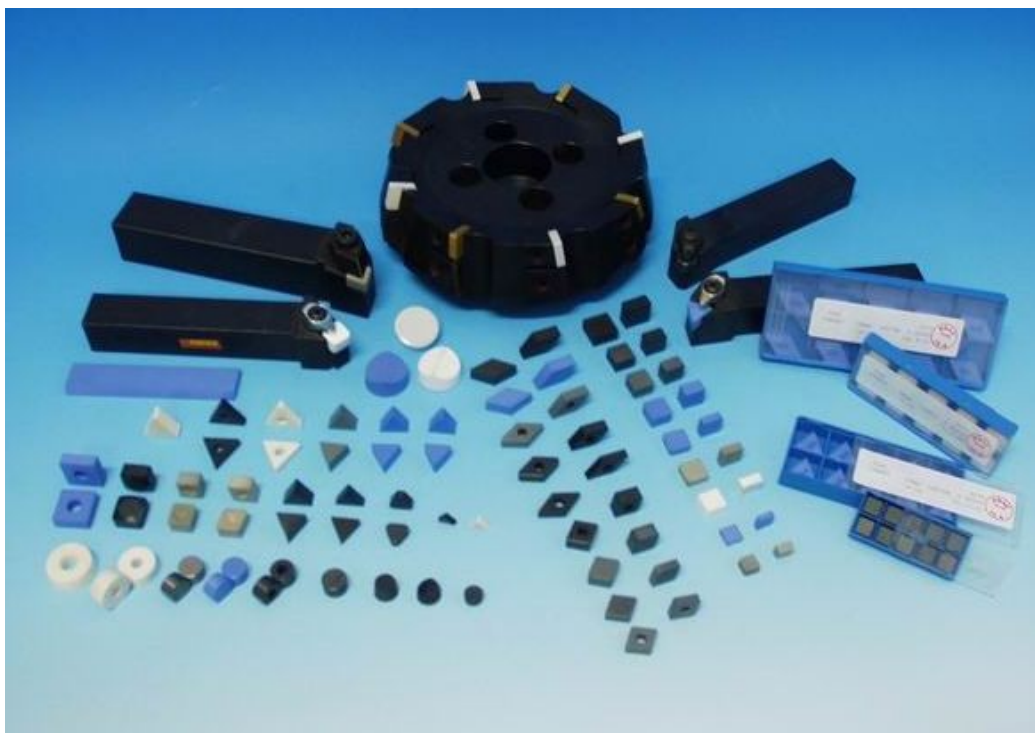
Vzhledem k testování keramických řezných destiček byla v teoretické části věnována pozornost keramickým řezným materiálům.

Cíle diplomové práce

- Popis řezné keramiky
- Popis metod pro testování obrábění přerušovaným řezem
- Výběr správné metody testování pro provedení experimentu
- Vlastní testování keramických řezných materiálů
- Přispění k rozšíření keramických řezných materiálů do strojírenské praxe

1 ŘEZNÁ KERAMIKA

Řezná keramika je charakterizována jako převážně krystalický materiál, jehož hlavní složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Pod tuto definici se zařazuje jak tradiční keramika (porcelán, cement, cihly), tak i brousící materiály a také keramika s přívlastkem „nová“ (speciální, konstrukční, průmyslové, strojírenské apod.). „Nová“ keramika je vyráběna z velmi čistých surovin a z čistých chemikálií, jako např. keramika syntetická. Převážná většina současných (nových) látek jsou látky krystalické. Tradiční keramika (porcelán, glazury) obsahuje i značný podíl skelné (amorfní) fáze. Tímto se od „nové“ keramiky liší. Keramické látky jsou vázány kovalentními a iontovými meziatomovými silami, obvykle se obě vazby vyskytují současně. V krystalové struktuře převládají mřížky kubické a hexagonální. [2]



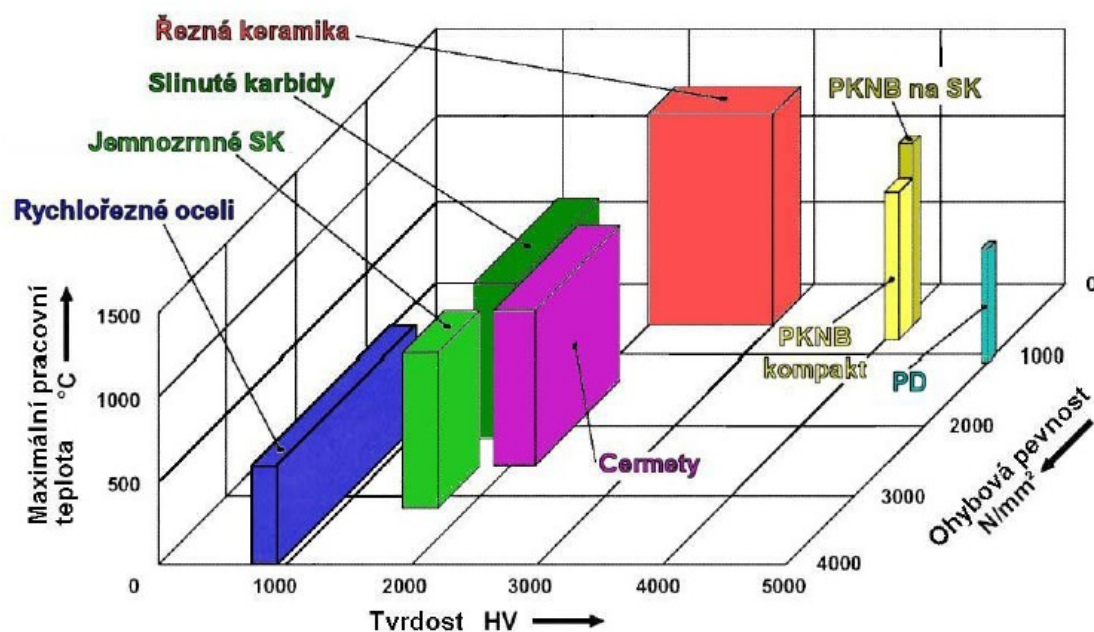
Obr. 1: Sortiment keramických řezných destiček společnosti Saint – Gobain Advanced Ceramics, s.r.o. [8]

Během posledních let byly pomocí výzkumu a vývoje výrazně vylepšeny některé vlastnosti keramických materiálů. Díky tomu se aplikace keramických materiálů rozšířila i ve strojírenské výrobě. [2]

V dnešní době se používají dva základní druhy řezné keramiky – na bázi oxidu hliníku (Al_2O_3) a na bázi nitridu křemíku (Si_3N_4).

Keramické řezné nástroje jsou používány v převážné většině díky těmto svým vlastnostem: [3]

- vysoká tvrdost,
- odolnost vůči plastické deformaci,
- odolnost proti vysokým teplotám,
- chemická stabilita,
- odolnost proti opotřebení, chemickým vlivům,
- odolnost vůči korozi,
- nízká měrná hmotnost,
- příznivá cena.



Obr. 2: Hodnoty vybraných vlastností řezných materiálů [4]

1.1 Rozdělení řezné keramiky

Pro značení keramickým materiálů neexistuje příslušná norma a každý autor zastává své označení. Je však přijímáno následující rozdělení:



Obr. 3: Rozdělení a značení řezné keramiky

Keramické materiály se používají v následujících odvětvích průmyslu: [3]

- tepelné aplikace (schopnost odolat vysokým teplotám a náhlým změnám teplot, nízká délková roztažnost, stabilita tvaru při tahovém i tlakovém namáhání při vysokých teplotách),
- mechanické aplikace (odolnost vůči opotřebení, vysoká tvrdost, stabilní kluzné vlastnosti, vysoká přesnost tvaru, nízká měrná hmotnost),
- elektrotechnika a elektronika (dobré izolační vlastnosti i při vysokých teplotách, vysoká stabilita výboje, vysoká dielektrická pevnost, dobré vysokofrekvenční a mechanické vlastnosti),
- fyzikální a chemické aplikace (dobrá chemická odolnost proti kyselinám a louhům, chemická inertnost, odolnost proti erozi a korozi, velký měrný povrch, definovaná filtrační schopnost),
- medicína (chemická inertnost a stabilita, biologická slučitelnost, filtrační schopnosti, velký geometrický a měrný povrch),
- stavebnictví (příjemnost na dotyk, odolnost proti horku a mrazu, hygienické vlastnosti, plynotěsnost, mechanická stabilita i za vysokých teplot).

1.2 Použití řezné keramiky

Pro využití řezné keramiky ve strojírenské výrobě je potřeba dodržet určité zásady, aby se její dobré vlastnosti mohly projevit a špatné potlačit.

Mezi hlavní podmínky patří zejména: [3]

- vysoká tuhost systému stroj – obrobek (kmitání zvyšuje intenzitu opotřebení),
- použití výkonných obráběcích strojů se širokým rozsahem posuvů a otáček (nejlépe s plynulou regulací otáček),
- výborný stav obráběcího stroje,
- zabezpečení pevného a spolehlivého upnutí obrobku (proti velkým odstředivým silám vznikajících při soustružení větších součástí),
- zakrytování pracovního prostoru obráběcího stroje (ochrana obsluhy),
- odstranění kůry obráběného polotovaru jiným druhem nástrojového materiálu,
- volba správného tvaru a velikosti břitové destičky,
- sražení náběhových hran na obrobku.

1.2.1 Soustružení

Doporučené řezné podmínky pro soustružení udávají většinou výrobci řezných nástrojů. Při použití keramických destiček pro obrábění tvrdých materiálů (tvrzená litina, kalené oceli) je zapotřebí volit nízké hodnoty hloubky řezu a_p . Výslovně je zakázáno u velké většiny vyměnitelných keramických břitových destiček chlazení nástroje chladicí kapalinou. [3]

1.2.2 Frézování

Na počátku vývoje a výroby byly keramické nástroje doporučovány především pro soustružení, čili pro obrábění nepřerušovaným řezem. Výzkumem a vývojem keramických řezných materiálů došlo k zlepšení jejich vlastností a tím došlo k rozšíření keramických materiálů i pro aplikace obrábění přerušovaným řezem – frézování. Základní podmínkou pro využití keramických řezných materiálů pro obrábění přerušovaným řezem je zajištění tuhosti soustavy stroj – nástroj – obrobek, čili zamezení vzniku vibrací. Toho lze úspěšně dosáhnout použitím frézovacích hlav, které jsou osazeny vyšším počtem břitů. [3]

Tab. 1: Hlavní oblasti využití nástrojů z řezné keramiky [3]

Materiál	Použití
Al_2O_3	Běžné soustružení; vrtání a drážkování litiny
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiCw}$	Obrábění žáruvzdorných slitin; hrubování a jemnění oceli; přerušované řezy
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$	Soustružení tvrdé slitiny zušlechťených ocelí do tvrdosti 64 HRC na jemný povrch; běžné soustružení, vrtání a drážkování litiny; dokončovací obrábění
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$	Soustružení šedé, tvárné a kujné litiny vytvrzené na 300 HB; obrábění uhlíkové, legované a nástrojové oceli vytvrzené na 38 HRC
Sialony	Hrubé obrábění superslitin na bázi niklu pro letecké motory a pro použití v agresivním prostředí; řezy vyžadující vysoký posuv, rychlost nebo hloubku řezu
Si_3N_4	Hrubé soustružení a frézování litiny v těžkých podmínkách; soustružení žáruvzdorných slitin na bázi niklu

1.3 Vliv tepelných a mechanických rázů

Odolnost keramických materiálů je při namáhání mechanickými a teplotními rázy velmi důležitá. Během obrábění dochází k opotřebení bříty lomem a vydrolením. Příčinou je cyklické namáhání bříty. K tomuto dochází především u přerušovaného obrábění, ale tento jev nastává i u obrábění nepřerušovaného. Při obrábění nepřerušovaným řezem dochází k cyklickému zatížení v důsledku kolísání periody hlavní složky řezné síly. Frekvence je závislá na charakteru velikosti elementu třísky. [11]

1.3.1 Mechanický ráz

Při vnikání nástroje do obrobku dochází ke krátkodobému nárůstu hlavní složky řezné síly, kdy hodnota nárůstu hlavní složky řezné síly závisí na čase (doba od prvního kontaktu po plný průřez třísky) a může mnohonásobně převýšit střední hodnotu pro vniknutí břitu do obrobku. Čas vniknutí nástroje do obrobku je závislý na vzájemné poloze nástroje o obrobku. Pokud je kontakt břitem nástroje najednou v celém průřezu třísky, uvažuje se čas vniknutí jako nulový. Mechanický ráz nebo složka řezné síly dosáhne svého maxima. Pozvolnějším vnikáním břitu do obrobku se docílí menšího nárůstu složky řezné síly. K prvnímu kontaktu mezi vyměnitelnou břitovou destičkou a obrobkem dochází na čele destičky – zde vzniká křehké porušení. [11]

1.3.2 Tepelný ráz

Během obrábění je břit nástroje vystaven také tepelným vlivům. Břit je namáhán cyklickým tepelným rázem, jelikož při obrábění dochází k zahřívání břitu a při výjezdu z řezu k jeho ochlazování. Tepelný ráz má za následek vznik a střídání tahových a tlakových napětí v povrchových vrstvách destičky. Tyto změny vedou ke tvorbě mikroskopických trhlin na ostří nástroje. Mikroskopické trhliny mohou způsobit křehké porušení břitu. [11]

2 METODY HODNOCENÍ NÁSTROJŮ PŘI PŘERUŠOVANÉM ŘEZU

Pro zkoušení nástroje v podmínkách přerušovaného řezu se jako vhodnými a efektivními metodami jeví technologické zkoušky soustružením nebo frézováním. Tyto zkoušky umožňují provádět změnu doby záběru nástroje a měnit frekvenci tepelných a mechanických rázů v širokém rozsahu. [1]

U výrobců i uživatelů nástrojových materiálů se v praxi používají různorodé vyhodnocovací obráběcí testy, které poskytují informace o podmínkách obrábění. Jelikož testy soustružení se zaměřují nejčastěji na obrábění plynulým řezem při proměnné nebo konstantní hloubce řezu a_p , byly vyvinuty testy pomocí soustružení s přerušovaným řezem, prováděné na speciálních přípravcích. Testování nástroje v podmínkách přerušovaného řezu klade prostřednictvím mechanického i tepelného zatížení břitů nástroje vysoké nároky především na houževnatost nástrojového materiálu. [1]

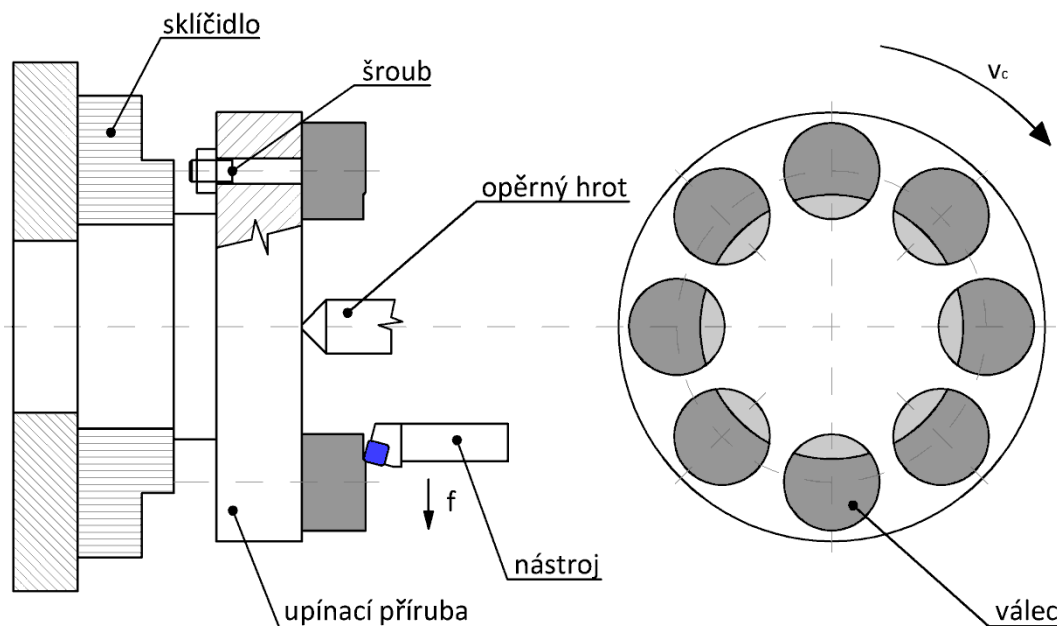
Metody testování nástrojů v podmínkách přerušovaného řezu:

- Soustružení
 - příčné soustružení (čepový test),
 - podélné s válcem se vsazenými lištami (lištový test),
 - válec s podélnými drážkami,
- Frézování
 - čelní se silně přerušovaným řezem,
- Vodorovné obrážení.

2.1 Příčné soustružení (tzv. čepový test)

Metoda je založena na soustružení válečků upnutých do přípravku rovnoměrně po kružnici. Válečky jsou v přípravku upevněny silou zabraňující jejich prokluzu. Přípravek je upnut ve sklíčidle a je podepřen opěrným hrotem pro zvýšení tuhosti. Během testování koná obrobek rotační pohyb a nástroj posuvný příčný pohyb od středu směrem k obvodu desky. Břit nástroje je vytaven tolika rázům, kolik je upnutých válečků po obvodu. Jelikož při tomto způsobu testování zůstávají neměnné pouze hloubka řezu a_p a posuv f , je tato metoda testování vhodná jen pro porovnání řezných materiálů od různých výrobců a druhů mezi sebou. Z údajů, které tato zkouška poskytuje, nelze stanovit doporučné řezné podmínky pro konkrétní případ soustružení s přerušovaným řezem.

Výhoda zkoušky spočívá v krátkodobosti a ve snazší výrobě a upnutí válečků. Nevýhoda této metody je v potřebě mít soustruh s plynulou regulací otáček, protože při použití konstantních otáček se zvyšuje řezná rychlost při pohybu nástroje směrem od osy obrobku ke kraji přípravku. [1]

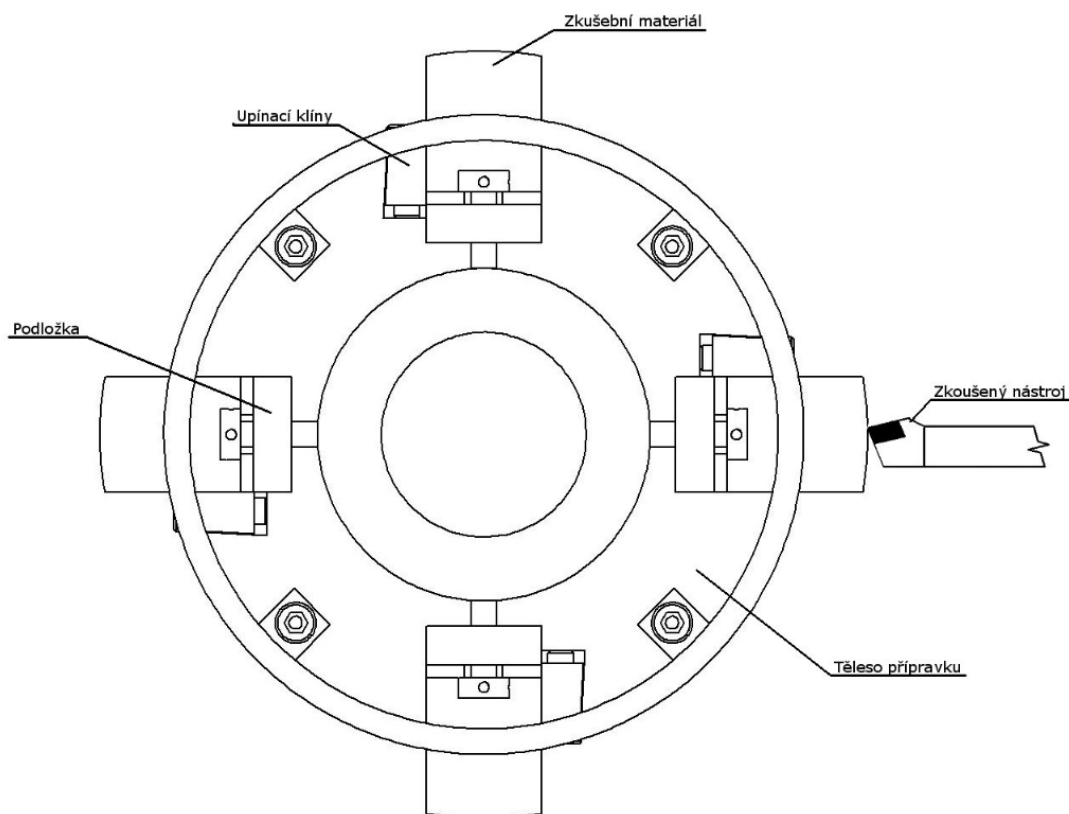


Obr. 4: Schéma přípravku pro příčné soustružení přerušovaným řezem [6]

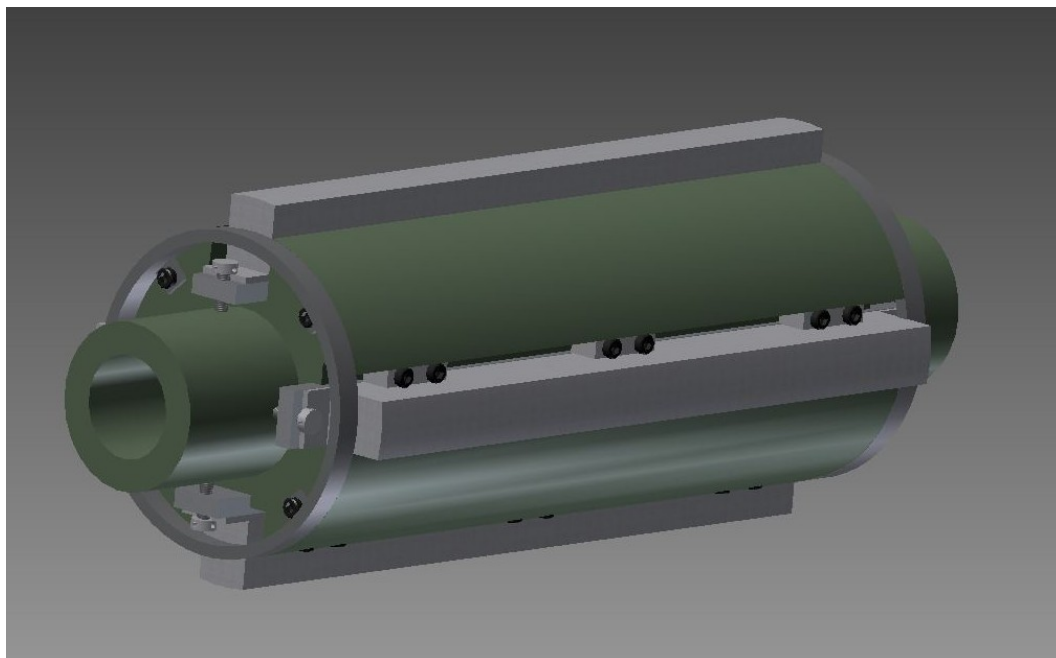
2.2 Podélné soustružení (tzv. lištový test)

K tomuto testu byl speciálně vyvinut přípravek – válec s upnutými výměnnými lištami. Přípravek byl zkonstruován v rámci grantového projektu GAČR č. 101/93/0129 v laboratořích Katedry obrábění a montáže VŠB – TUO. Lišty se podkládají podložkami zaručující stálý řezný průměr. Těleso přípravku může obsahovat až čtyři lišty, záleží na způsobu testování břitu nástroje. Pomocí klínových čelistí jsou lišty připevněny k přípravku. Tyto klínové čelisti zachycují odstředivou sílu a jsou zešikmeny tak, aby na lišty působily přitlačnou silou. Na obou čelech přípravku jsou z důvodu bezpečnosti připevněny pojistné kroužky bránící zranění obsluhy a materiálovým škodám při nedostatečném upnutí lišt a jejich následnému uvolnění. K testování se mohou používat lišty různých materiálů, jelikož lišty lze snadno v přípravku vyměnit.

Před samotným měřením je potřeba odřezat první vrstvu třísky, což zaručuje konstantní hloubku řezu při soustružení. Během testu se zkoušený nástroj posouvá směrem od hrotu ke sklíčidlu v podélném směru. Testovaný nástroj je během jedné otáčky vystaven čtyřem rázům při vnikání do lišt. [1]



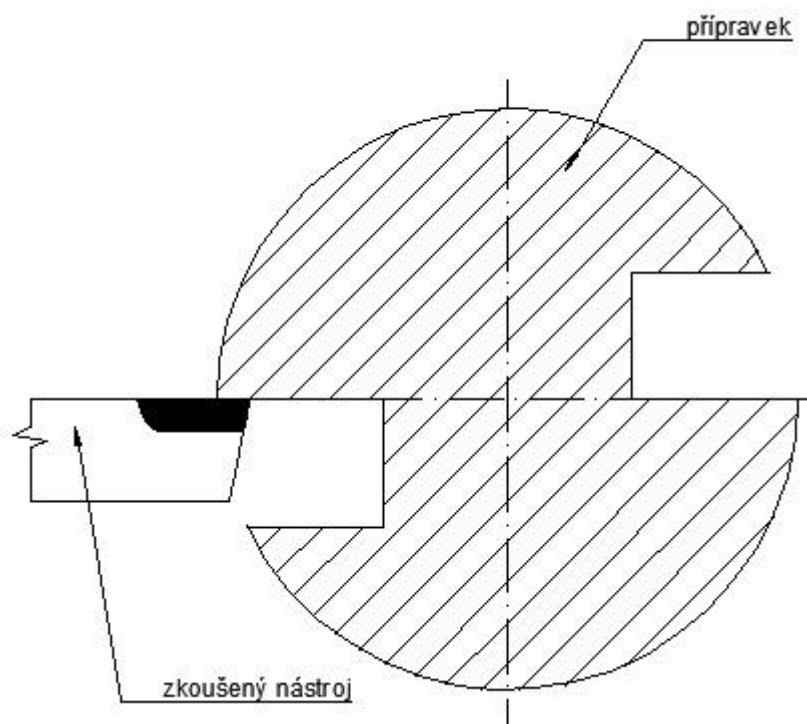
Obr. 5: Schéma přípravku pro podélné soustružení přerušovaným řezem



Obr. 6: Model přípravku

2.3 Válec s podélnými drážkami

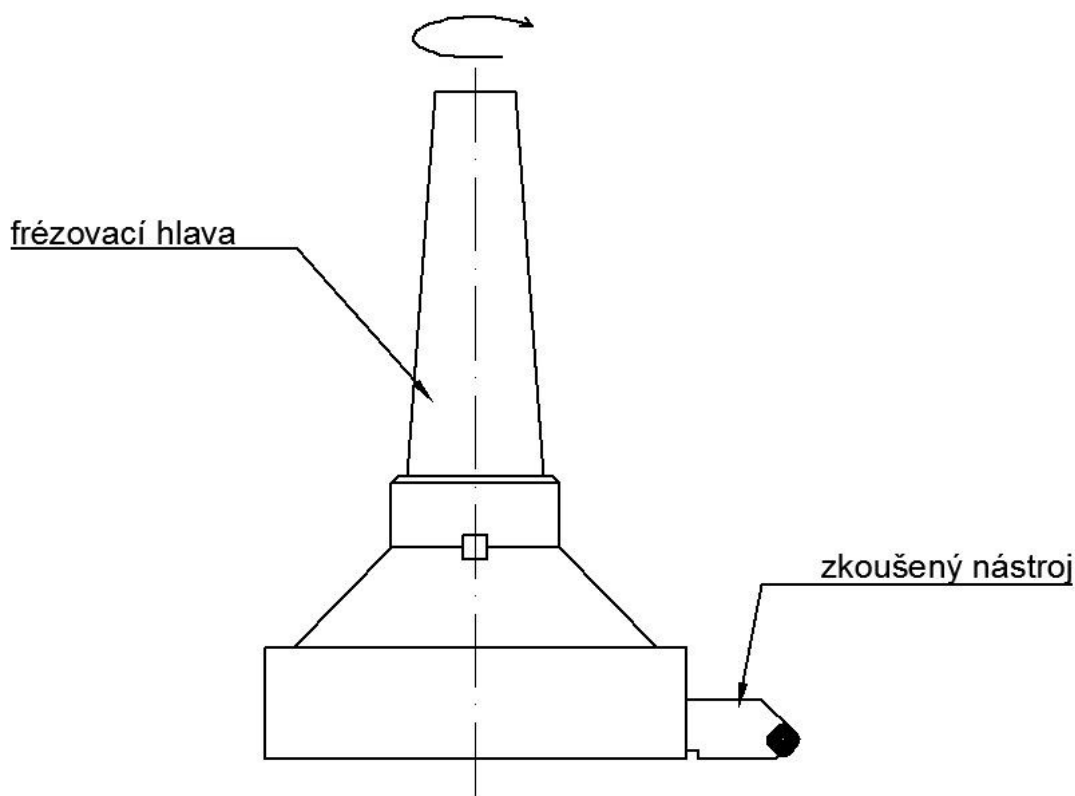
Přípravek má po své délce vyfrézovány drážky (obvykle dvě, může jich být i více). Podle počtu drážek je nástroj během jedné otáčky vystaven několika mechanickým rázům. V porovnání s metodou lištovou je zde obrácený poměr doby záběru bříty a doby mimo řez – nástroj v řezu je delší dobu. Dochází zde ke kratší době ochlazování a to má za následek menší kolísání teploty bříty a menší teplotní rázy – možnost vzniku trhlin. Během testování je z přípravku odebírán materiál. Díky tomu se mění obráběný průměr přípravku a tím i řezná rychlost. Proto se doporučuje při následujícím testu zvýšit otáčky vřetene. Nevýhodou této zkoušky je její finanční náročnost z důvodu větší spotřeby odebíraného materiálu. Také je potřeba mít celý přípravek zhotovený ze zkoušeného materiálu. [7]



Obr. 7: Schéma přípravku s podélnými drážkami pro soustružení přerušovaným řezem [7]

2.4 Čelní frézování se silně přerušovaným řezem

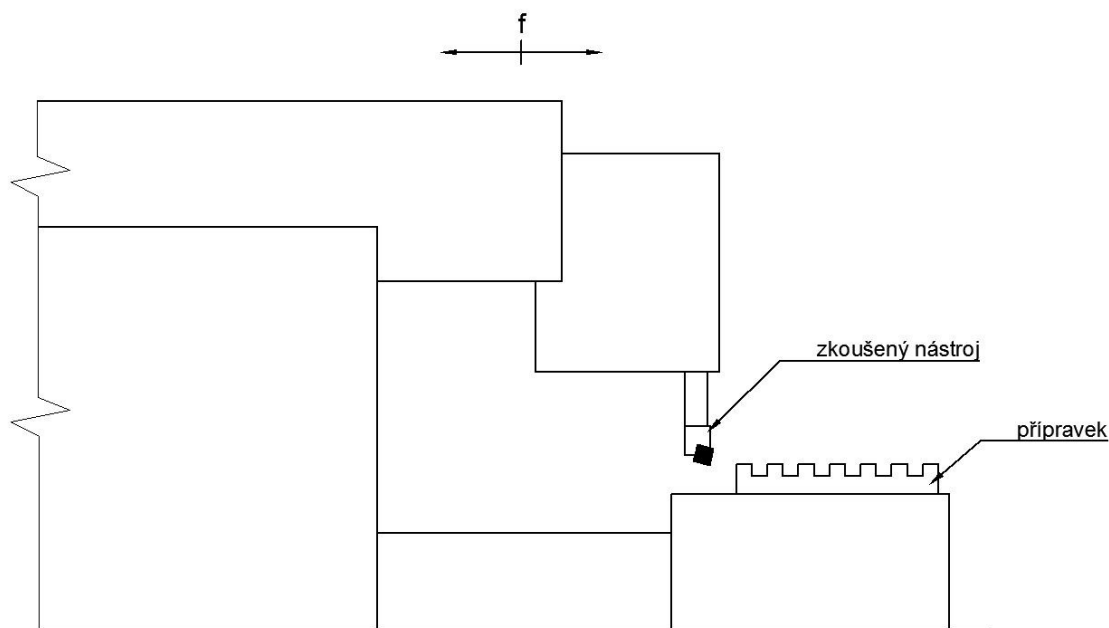
Při této metodě se používá jeden upínací držák s testovanou vyměnitelnou břitovou destičkou, který je upevněn ve frézovacím přípravku. Výhodou je snadnost dosáhnutí a zajištění rovnoměrné řezné rychlosti a hladiny chvění. Charakter zkoušky je rázový a velmi se podílí na obráběcích operacích. Vyhodnocovacím kritériem je zde velikost opotřebení na hřbetě nástroje VB. Jako doplňující kritérium se uvažuje minimální rázová trvanlivost pro náhodné vyštípnutí břitu ze zkoušené břitové destičky. Minimální hodnotu náhodného vyštípnutí určuje počet rázů při náhodném opotřebení. Zkoušený materiál se doporučuje porovnávat s etalonovým materiálem a určovat indexy relativně.[6]



Obr. 8: Schéma frézovacího přípravku pro obrábění přerušovaným řezem [6]

2.5 Vodorovné obrážení

Metoda se provádí v podmínkách přímočarého pohybu a dovoluje studium rázové odolnosti nástrojů. Oproti předešlým metodám testování se zde využívají nižší řezné rychlosti. Mezi nevýhody této metody patří menší tuhost obrážčky, což při testování zvyšuje chvění. Zkoušený materiál se vyhodnocuje porovnáním s etalonovým materiálem – stejně jako při metodě čelního frézování. [6]



Obr. 9: Schéma metody vodorovného obrážení [6]

3 METODA ZKOUŠENÍ BŘITOVÝCH DESTIČEK

K otestování keramických břitových destiček byl použit tzv. lištový test (metoda podélného soustružení). Zkoušení bylo provedeno na simulátoru přerušovaného řezu, který byl zhotoven v rámci grantového projektu GAČR č. 101/93/0129. Cílem zkoušení bylo zjistit výdrž keramických břitových destiček při přerušovaném řezu. Do přípravku byl postupně upínán různý počet lišt. Tímto bylo dosaženo rozdílnosti doby trvání, kdy byla břitová destička v záběru a mimo záběr.

3.1 Řezné parametry

Z technických důvodů při nevyváženosti přípravku probíhalo měření při dvou řezných rychlostech. Stejná řezná rychlost byla zajištěna při upnutí čtyř a dvou lišt do přípravku. Při testování upnutých tří lišt a jedné lišty bylo potřeba kvůli nevyváženosti přípravku řeznou rychlost snížit.

Tab. 2: Řezné parametry

	4lišty, 2 lišty	3 lišty, 1 lišta
Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	425	294
Otáčky n [min ⁻¹]	520	360
Posuv f [mm]	0,2	0,2
Hloubka řezu a_p [mm]	1	1
Obráběný střední průměr D [mm]	260	260

3.2 Soustružené lišty

Lišty pro soustružení byly zhotoveny z materiálu C45. Jedná se o ekvivalent značení oceli dle ČSN 12 050. Jedná se o uhlíkovou ocel k zušlechťování s třídou obrobitelnosti 14b. Tato ocel je používána při výrobě středně namáhaných částech strojů, automobilů, motorů, vlaků atd.

Tab. 3: Chemické složení materiálu C45

C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
0,42	0,50	0,17	max.	max.	max.	max.	max.
0,50	0,80	0,37	0,25	0,30	30	0,040	0,040

Tab. 4: Mechanické vlastnosti materiálu C45

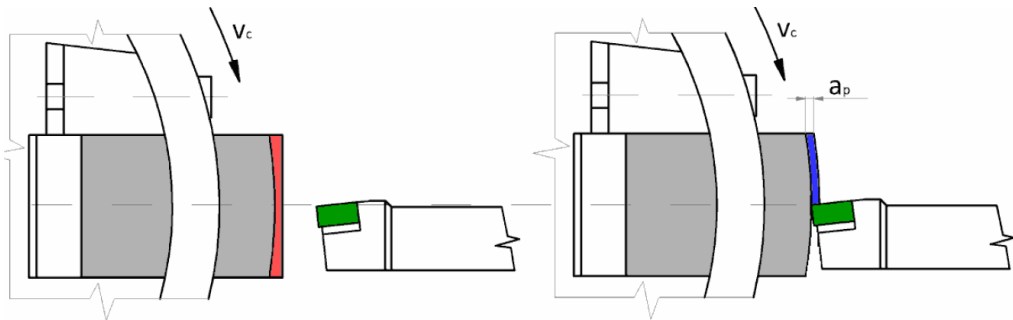
Mez kluzu [MPa]	Mez pevnosti [MPa]	Tažnost [%]	Tvrdost [HB]	Modul pružnosti v tahu [GPa]
min. 325	min. 540	min. 17	max. 225	211



Obr. 10: Použité lišty

Úprava lišt před měřením

Před samotným měřením bylo potřeba odřezat první vrstvu třísky. Tato úprava zaručuje konstantní hloubku třísky při obrábění.



Obr. 11: Úprava lišt před měřením [6]

3.3 Obráběcí stroj

Pro testování keramických vyměnitelných destiček byl použit soustruh TOS Trenčín, typ SN 55, jehož výkon elektromotoru je 7,5 kW. Tento soustruh svou stavbou a ukotvením byl vhodný pro provedení experimentu. Stroj zajišťoval dostatečnou tuhost a stabilitu pro provedení experimentu.



Obr. 12: Obráběcí stroj

3.4 Přípravek pro provedení přerušovaného řezu

Byl použit přípravek, který byl speciálně vyvinut a vyroben v rámci grantového projektu GAČR č. 101/93/0129 v laboratořích katedry obrábění a montáže. Do přípravku se postupně upínaly lišty. Břitové destičky byly testovány při použití různého počtu lišt. Přípravek byl vybaven distančními podložkami pro zajištění stálého rezného průměru. Na obou čelech přípravku byly přišroubované pojistné kroužky, které mají za úkol zabránit „vystřelení“ lišt při jejich nedostatečném upnutí.



Obr. 13: Přípravek pro přerušovaný řez

3.5 Nástrojový držák

Pro experiment byl vybrán nástrojový držák CSRNR 2525 M12 – K.



Obr. 14: Nástrojový držák CSRNR 2525 M12 – K

Řezná geometrie:

- úhel čela: $\gamma = -6^\circ$,
- úhel sklonu ostří: $\lambda_s = -6^\circ$,
- úhel nastavení hlavního ostří: $\kappa_r = 75^\circ$,
- úhel špičky: $\epsilon_r = 90^\circ$.

3.6 Vyměnitelné břitové destičky

Byly zkoušeny břitové destičky od dvou výrobců. První břitové destičky byly typ DISAL D420 od výrobce Saint – Gobain Advanced Ceramics, s.r.o. a druhé břitové destičky byly typ LX11 od výrobce Tungaloy America, Inc. Rozdíl byl také v tom, že destičky D420 byly nepovlakované, zatímco destičky LX11 byly povlakované.

Typ DISAL D420

Jedná se o nepovlakovanou břitovou nitridovou keramickou destičku na bázi Si_3N_4 . Má výbornou houževnatost při zachování vysoké tvrdosti. Umožňuje obrábět přerušovaným řezem i za použití chladicí kapaliny. Tato destička je především vhodná pro obrábění litiny. [8]



Obr. 15: Destičky DISAL D420

Typ LX11

Tento typ je keramická oxidová břitová destička na bázi $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$. Tato destička je povlakovaná metodou PVD a je na ni nanesená vrstva povlaku TiN. Je vhodná pro hrubování a dokončování materiálů s tvrdostí 45 – 65 HRC. [10]



Obr. 16: Destičky LX11

3.7 Vyhodnocovací zařízení

Mikroskop Itracomicro

Dosažené opotřebenění na keramické vyměnitelné břitové destičce bylo prozkoumáno pod mikroskopem Itracomicro. Přes potřebný software byly pořízeny snímky opotřebenění. Snímky byly pořízeny při čtyřnásobném zvětšení.

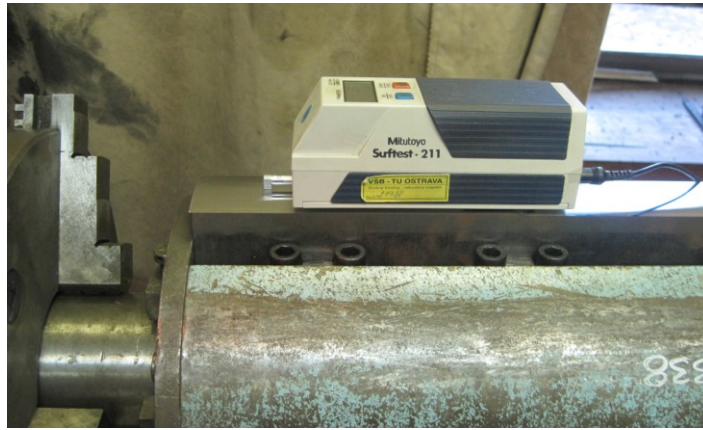


Obr. 17: Mikroskop Itracomicro

Drsnoměr Mitutoyo Surfest 211

Pro měření drsnosti obrobených lišt byl využit drsnoměr Mitutoyo Surfest 211. Byly měřeny parametry drsnosti:

- Největší výška profilu Rz
- Střední aritmetická úchylka profilu Ra



Obr. 18: Drsnoměr Mitutoyo Surftest - 211

3.8 Vyhodnocení počtu rázů

Hlavním parametrem pro vyhodnocení břitových destiček bylo pozorování počtu rázů. Pro vyhodnocení opotřebení břitových destiček byla stanovena limitní hodnota počtu rázů $R = 6000$. Tato hodnota byla stanovena kvůli velké časové náročnosti experimentu. Při dosažení tohoto limitního počtu rázů byla destička prohlášena za vyhovující a testování se ukončilo.

Pro různý počet lišt odpovídá limitní hodnota počtu rázů při posuvu $f = 0,2$ mm jiné obrobené délce lišt. Vypočtené hodnoty obrobených délek jsou uvedeny v tabulce.

Vztah pro výpočet počtu rázů:

$$R = \frac{x \cdot l}{f} \quad (1)$$

x - počet upnutých lišt [-],

R – počet rázů [-],

l – obrobená délka [mm],

f – posuv [mm].

Tab. 5: Tabulka obrobených délek l při limitním počtu rázů

Počet lišt	Počet rázů R [-]	Obrobená délka l [mm]
4 lišty	6000	300
3 lišty	6000	400
2 lišty	6000	600
1 lišta	6000	1200

4 NAMĚŘENÉ HODNOTY A VYHODNOCENÍ

Testování probíhalo na dvou typech destiček, kdy vždy jedna destička byla testována na dvou protilehlých ostřích. Každé měření se opakovalo pětikrát. Z těchto pěti hodnot byl stanoven aritmetický průměr a nejistoty měření (ve formě směrodatné odchylky). Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulkách. Přiloženy jsou i snímky opotřebení u vybraných destiček.

Vztah pro výpočet aritmetického průměru:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

n – počet měření,

x_i – jednotlivé naměřené hodnoty veličiny x ,

\bar{x} - aritmetický průměr.

Vztah pro výpočet standardní nejistoty typu A

$$u_A = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (3)$$

n – počet měření,

x_i – jednotlivé naměřené hodnoty veličiny x ,

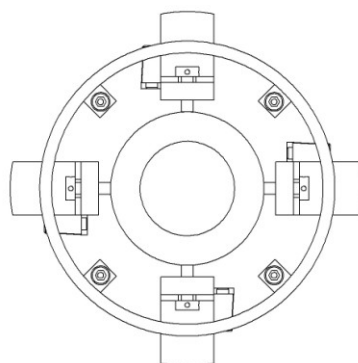
\bar{x} - aritmetický průměr,

u_A – standardní nejistota typu A,

$s(\bar{x})$ - směrodatná odchylka.

4.1 Přípravek se čtyřmi upnutými lištami

Testovány byly dva typy destiček (D420 a LX11) při řezné rychlosti $425 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a posuvu $f = 0,2 \text{ mm}$ a hloubkou řezu $a_p = 1 \text{ mm}$. Byla vypočtena kritická vzdálenost, která odpovídá hodnotě $R = 6000$ rázů, kdy je destička prohlášena za vyhovující (v případě čtyř upnutých lišt $l = 300 \text{ mm}$). Pokud destička této kritické vzdálenosti dosáhla, testování se ukončilo. Při zničení destičky byla zaznamenána vzdálenost l , kterou destička obrobila. Ze vztahu (1) byl následně vypočten počet rázů. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce včetně aritmetického průměru hodnot a směrodatné odchylky.



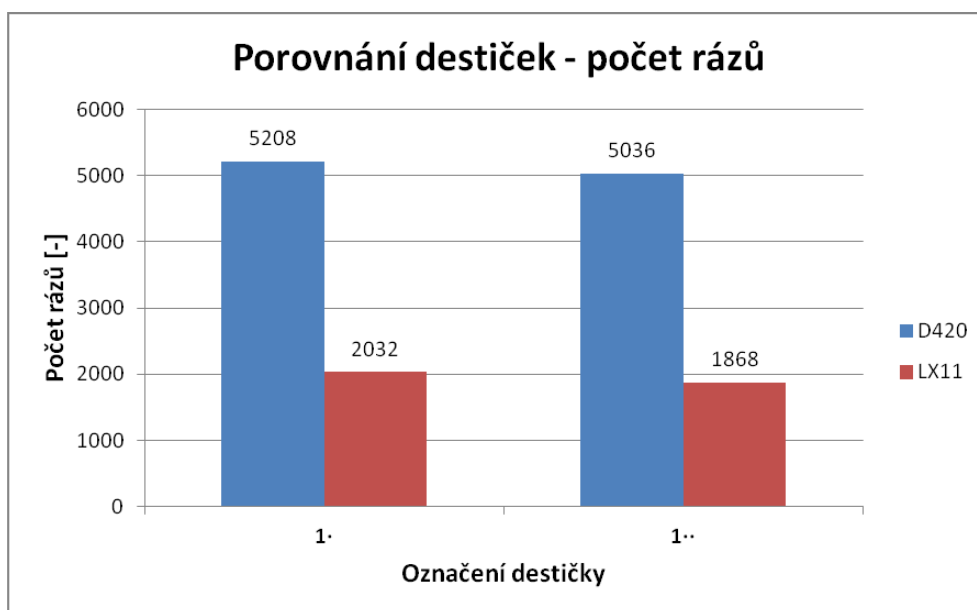
Obr. 19: Schéma upnutí čtyř lišt

Tab. 6: Naměřené hodnoty při čtyřech upnutých lištách pro destičku D420

D420								
4 lišty, $v_c = 425 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$								
Označení	1·				1··			
Parametry	l [mm]	R [-]	R_a [μm]	R_z [μm]	l [mm]	R [-]	R_a [μm]	R_z [μm]
1	257	5140	1,81	6,4	246	4920	1,60	5,5
2	286	5720	1,79	6,3	252	5040	1,80	5,7
3	264	5280	1,81	6,4	249	4980	1,75	6,4
4	251	5020	1,83	6,5	246	4920	1,78	6,1
5	244	4880	1,80	6,4	266	5320	1,82	6,2
Aritmetický průměr	260,4	5208	1,81	6,4	251,8	5036	1,75	5,98
Směrodatná odchylka	7,20	144	0,01	0,03	3,72	74	0,04	0,17

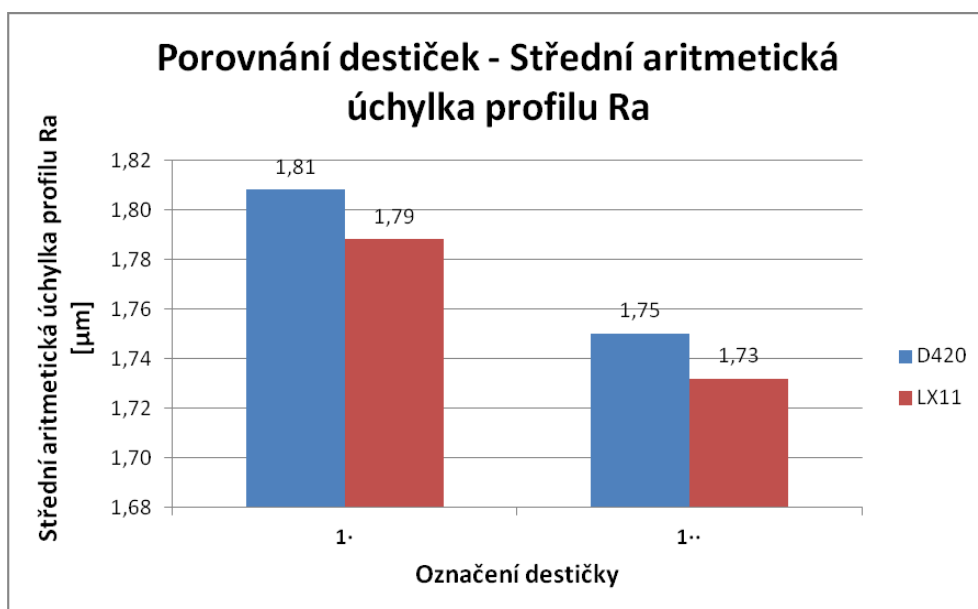
Tab. 7: Naměřené hodnoty při čtyřech upnutých lištách pro destičku LX11

LX11								
4 lišty, $v_c = 425 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$								
Označení	1•				1••			
Parametry	I [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]	I [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	95	1900	1,75	6,2	64	1280	1,74	6,2
2	120	2400	1,82	6,1	101	2020	1,70	5,7
3	99	1980	1,79	6,4	73	1460	1,81	5,7
4	105	2100	1,8	6,0	128	2560	1,71	5,9
5	89	1780	1,78	6,2	101	2020	1,70	6,1
Aritmetický průměr	101,6	2032	1,79	6,18	93,4	1868	1,73	5,92
Směrodatná odchylka	5,29	106	0,01	0,07	11,39	228	0,02	0,10

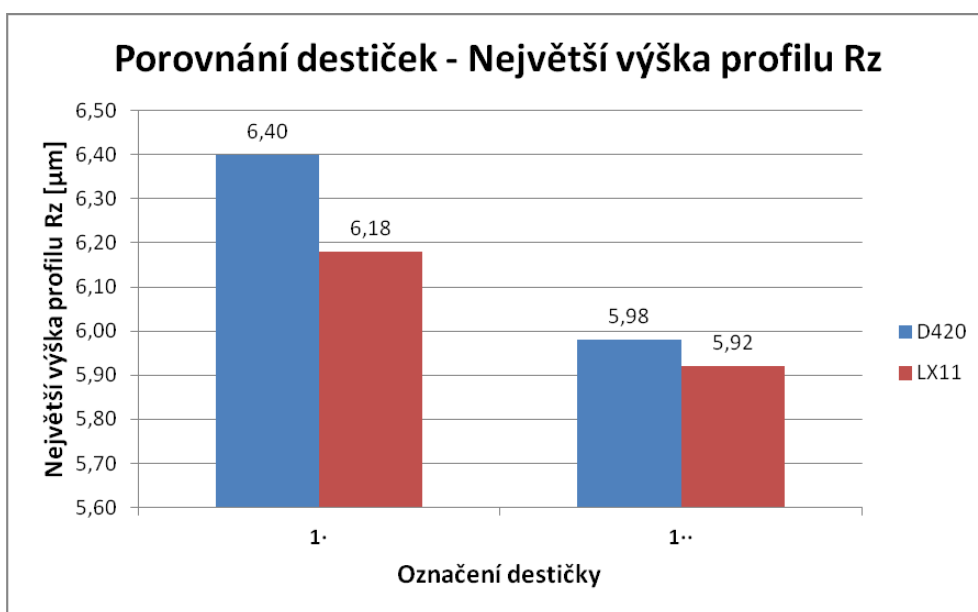


Obr. 20: Graf počtu rázů při upnutých čtyřech lištách

Se čtyřmi upnutými lištami dosáhla destička D420 v jednom případě 5208 ± 144 rázů a v druhém případě 5036 ± 74 rázů. Destička LX11 vydržela do porušení pouze 2032 ± 106 rázů, respektive 1868 ± 228 rázů.



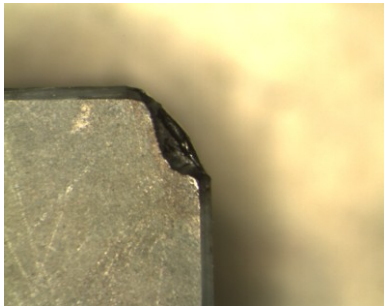
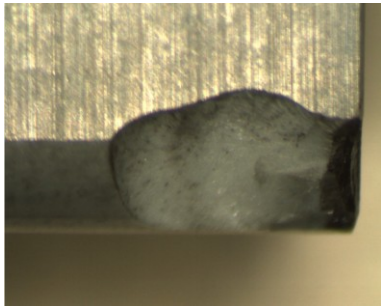

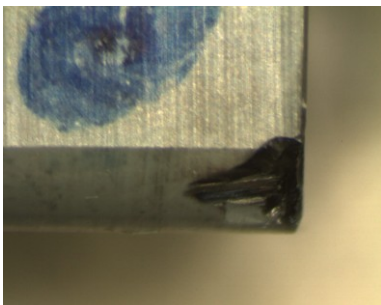
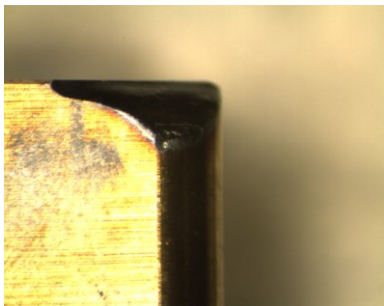
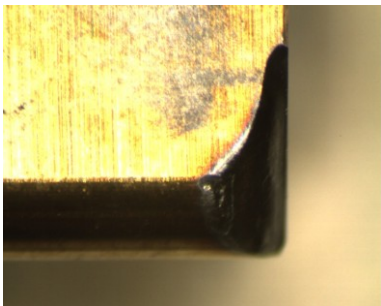
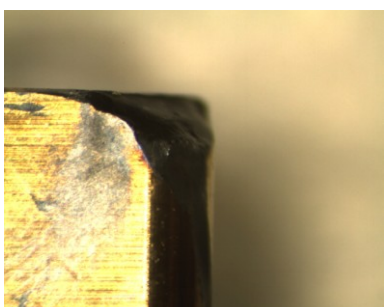
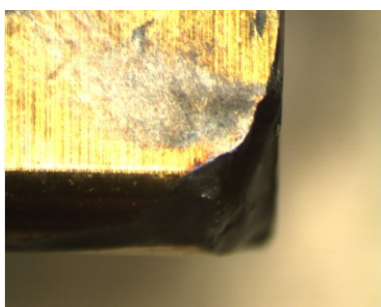
Obr. 21: Graf hodnot střední aritmetické úchylky profilu Ra při upnutých čtyřech lištách



Obr. 22: Graf hodnot nejvyšší výšky profilu Rz při upnutých čtyřech lištách

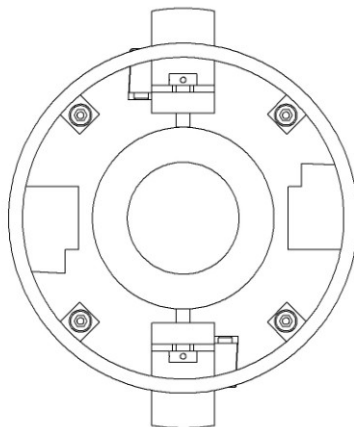
Střední aritmetická úchylka profilu Ra obrobených lišt s upnutými čtyřmi lištami se u obou testovaných destiček pohybovala podobně, mírně lepších výsledků dosáhla destička LX11. Hodnoty největší výšky profilu Rz má opět mírně lepší destička LX11.

Tab. 8: Snímky opotřebení destiček při čtyřech upnutých lištách

D420			
Označení destičky	Čelo destičky	Označení destičky	Hřbet destičky
1·		1·	
1··		1··	
LX11			
Označení destičky	Čelo destičky	Označení destičky	Hřbet destičky
1·		1·	
1··		1··	

4.2 Přípravek se dvěma upnutými lištami

Testovány byly dva typy destiček (D420 a LX11) při řezné rychlosti $425 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a posuvu $f = 0,2 \text{ mm}$ a hloubkou řezu $a_p = 1 \text{ mm}$. Byla vypočtena kritická vzdálenost, která odpovídá hodnotě $R = 6000$ rázů, kdy je destička prohlášena za vyhovující (v případě dvou upnutých lišt $l = 600 \text{ mm}$). Pokud destička této kritické vzdálenosti dosáhla, testování se ukončilo. Při zničení destičky byla zaznamenána vzdálenost l , kterou destička obrobila. Ze vztahu (1) byl následně vypočten počet rázů. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce včetně aritmetického průměru hodnot a směrodatné odchylky.



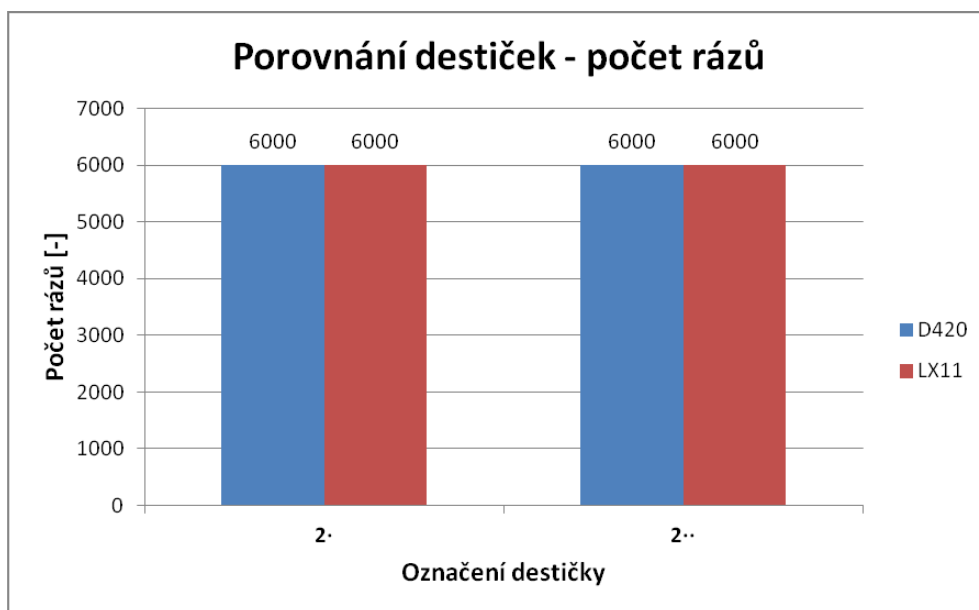
Obr. 23: Schéma upnutí dvou lišt

Tab. 9: Naměřené hodnoty při dvou upnutých lištách pro destičku D420

D420								
2 lišty, $v_c = 425 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$								
Označení	2·				2··			
Parametry	l [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]	l [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	600	6000	1,83	6,2	600	6000	1,61	5,8
2	600	6000	1,76	5,9	600	6000	1,74	6,6
3	600	6000	1,63	6,5	600	6000	1,86	6,2
4	600	6000	1,82	6,4	600	6000	1,83	6,7
5	600	6000	1,63	5,9	600	6000	1,75	5,7
Aritmetický průměr	600	6000	1,73	6,18	600	6000	1,76	6,2
Směrodatná odchylka	0	0	0,04	0,12	0	0	0,04	0,20

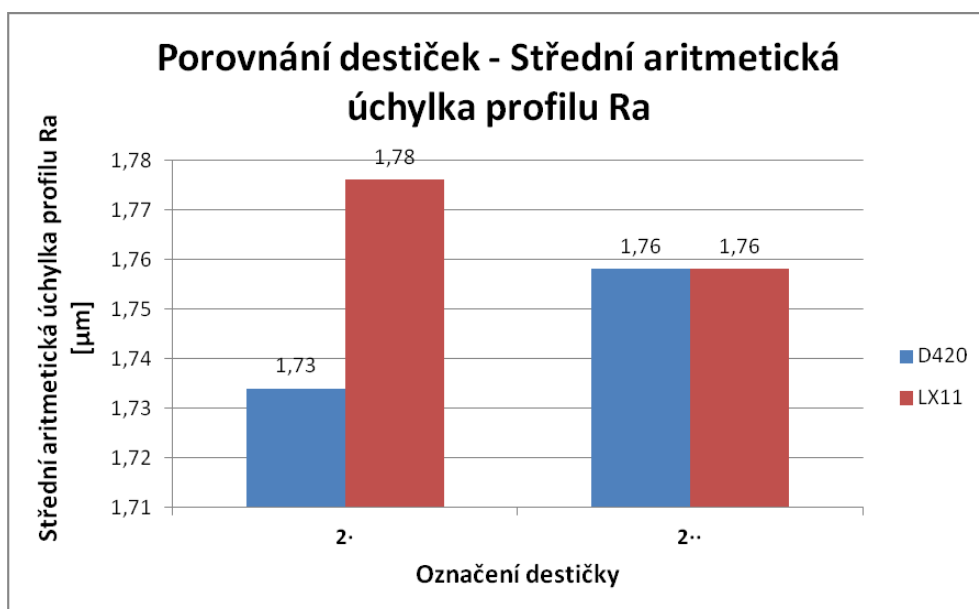
Tab. 10: Naměřené hodnoty při dvou upnutých lištách pro destičku LX11

LX11								
2 lišty, $v_c = 425 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$								
Označení	2·				2··			
Parametry	I [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]	I [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	600	6000	1,74	5,5	600	6000	1,70	5,3
2	600	6000	1,82	6,9	600	6000	1,76	5,8
3	600	6000	1,80	6,4	600	6000	1,74	5,8
4	600	6000	1,79	6,1	600	6000	1,84	6,3
5	600	6000	1,73	5,6	600	6000	1,75	6,5
Aritmetický průměr	600	6000	1,78	6,1	600	6000	1,76	5,94
Směrodatná odchylka	0	0	0,02	0,26	0	0	0,02	0,21

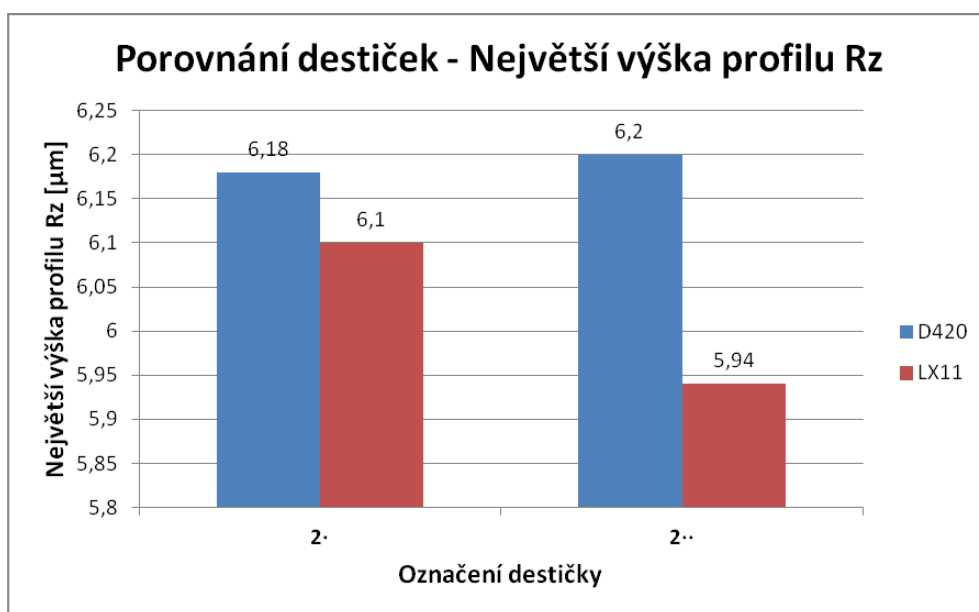


Obr. 24: Graf počtu rázů při upnutých dvou lištách

V případě dvou upnutých lišt dosáhly obě destičky mezní hodnoty počtu rázů $R = 6000$, tudíž byly označeny jako vyhovující. Rozdíl oproti experimentu se čtyřmi upnutými lištami je v rozdílné době trvání, kdy je destička v záběru a mimo záběr.



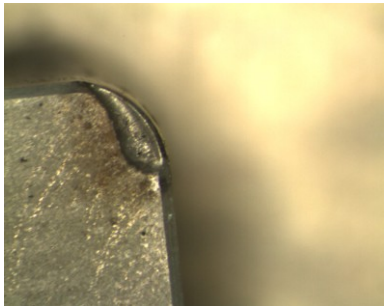
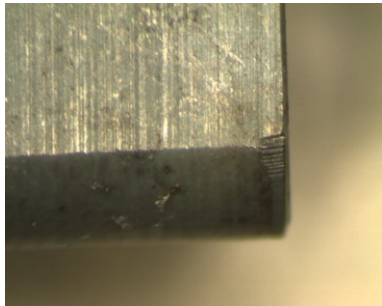

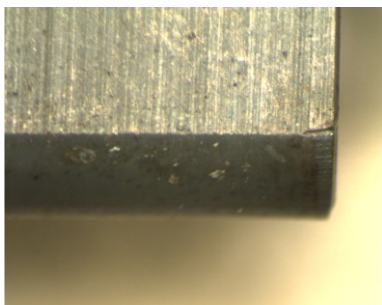
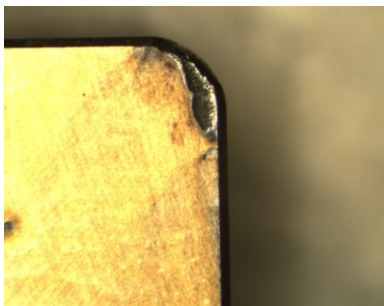
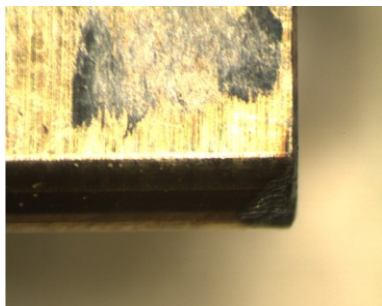
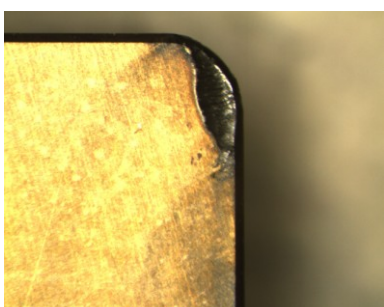
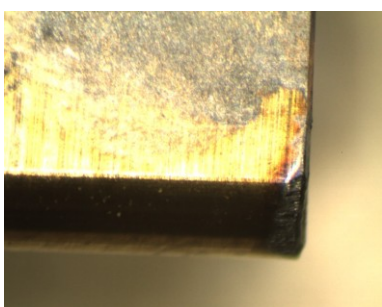
Obr. 25: Graf hodnot střední aritmetické úchylky profilu Ra při upnutých dvou lištách



Obr. 26: Graf hodnot nejvyšší výšky profilu Rz při upnutých dvou lištách

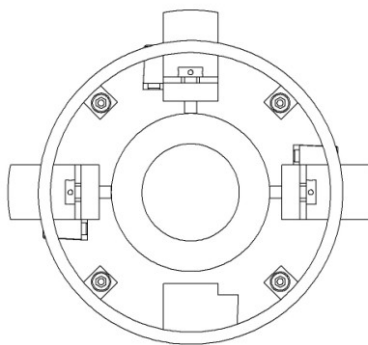
U metody se dvěma upnutými lištami byla střední aritmetická úchylka profilu Ra obrobených lišt v jednom případě lepší u destičky D420, v druhém případě byly hodnoty identické. Destička LX11 dosahovala mírně lepších hodnot největší výšky profilu Rz.

Tab. 11: Snímky opotřebení destiček při dvou upnutých lištách

D420			
Označení destičky	Čelo destičky	Označení destičky	Hřbet destičky
2·		2·	
2··		2··	
LX11			
Označení destičky	Čelo destičky	Označení destičky	Hřbet destičky
2·		2·	
2··		2··	

4.3 Přípravek se třemi upnutými lištami

Testovány byly dva typy destiček (D420 a LX11) při řezné rychlosti $294 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a posuvu $f = 0,2 \text{ mm}$ a hloubkou řezu $a_p = 1 \text{ mm}$. Byla vypočtena kritická vzdálenost, která odpovídá hodnotě $R = 6000$ rázů, kdy je destička prohlášena za vyhovující (v případě tří upnutých lišt $l = 400 \text{ mm}$). Pokud destička této kritické vzdálenosti dosáhla, testování se ukončilo. Při zničení destičky byla zaznamenána vzdálenost l , kterou destička obrobila. Ze vztahu (1) byl následně vypočten počet rázů. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce včetně aritmetického průměru hodnot a směrodatné odchylky.



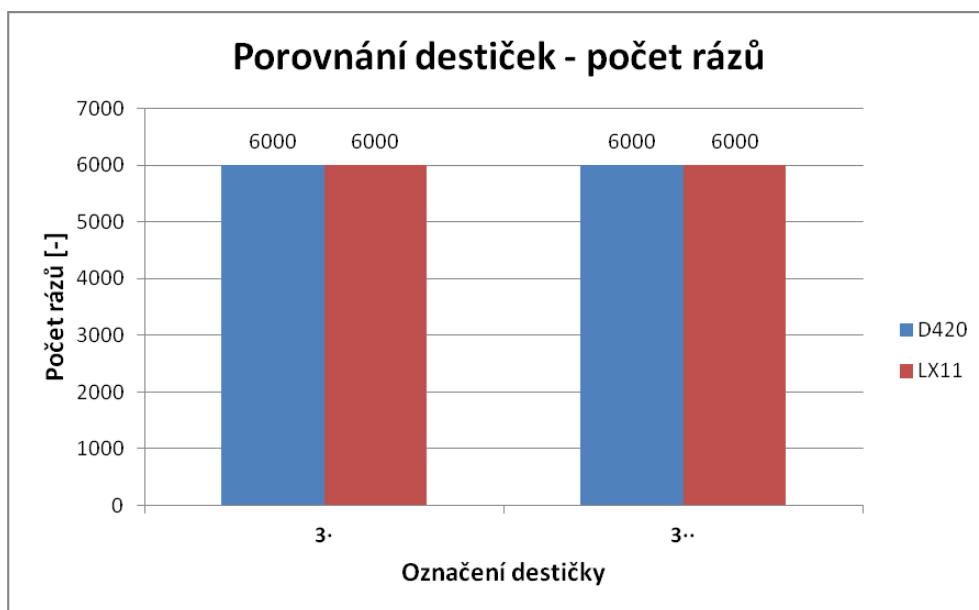
Obr. 27: Schéma upnutí tří lišt

Tab. 12: Naměřené hodnoty při třech upnutých lištách pro destičku D420

D420								
3 lišty, $v_c = 294 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$								
Označení	3•				3••			
Parametry	l [mm]	R [-]	R_a [μm]	R_z [μm]	l [mm]	R [-]	R_a [μm]	R_z [μm]
1	400	6000	1,74	6,2	400	6000	1,69	5,4
2	400	6000	1,71	6,5	400	6000	1,70	5,7
3	400	6000	1,63	5,7	400	6000	1,68	6,2
4	400	6000	1,67	6,0	400	6000	1,79	6,1
5	400	6000	1,76	6,1	400	6000	1,75	5,3
Aritmetický průměr	400	6000	1,70	6,1	400	6000	1,72	5,74
Směrodatná odchylka	0	0	0,02	0,13	0	0	0,02	0,18

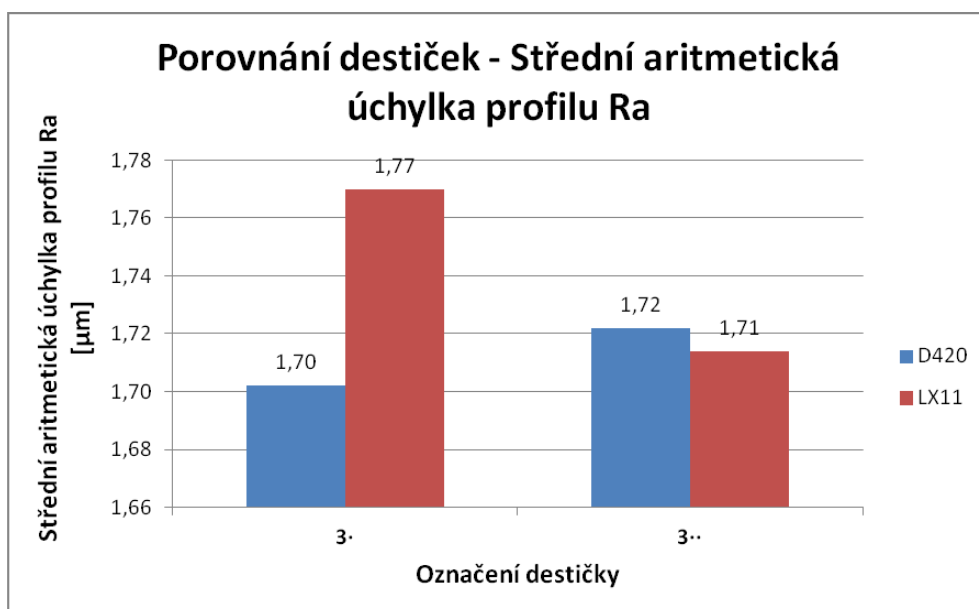
Tab. 13: Naměřené hodnoty při třech upnutých lištách pro destičku LX11

LX11								
3 lišty, $v_c = 294 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$								
Označení	3·				3··			
Parametry	I [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]	I [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	400	6000	1,82	6,1	400	6000	1,67	6,4
2	400	6000	1,74	6,1	400	6000	1,70	6,3
3	400	6000	1,71	6,9	400	6000	1,79	5,9
4	400	6000	1,78	6,4	400	6000	1,65	6,4
5	400	6000	1,80	6,8	400	6000	1,76	6,5
Aritmetický průměr	400	6000	1,77	6,46	400	6000	1,71	6,3
Směrodatná odchylka	0	0	0,02	0,17	0	0	0,03	0,10

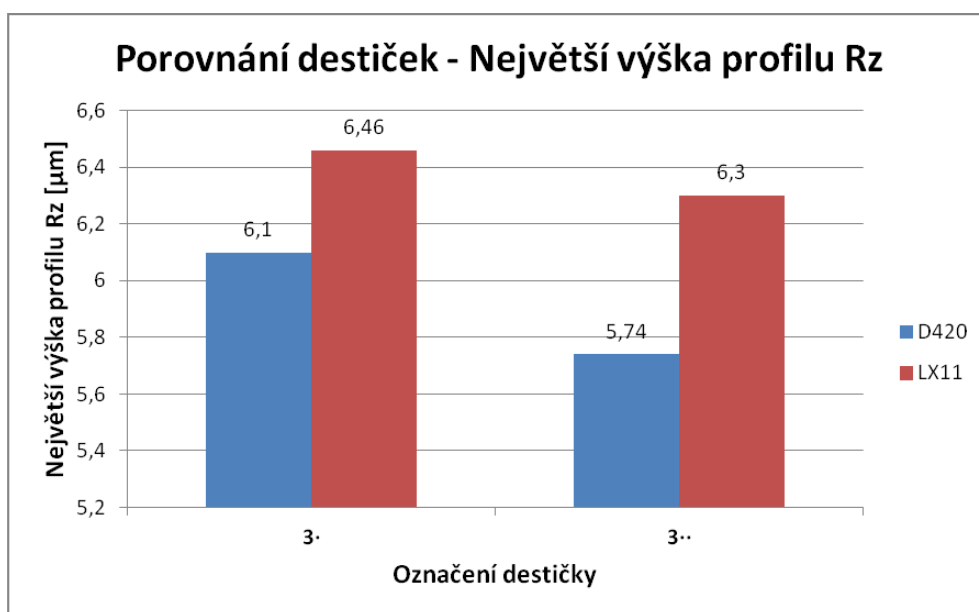


Obr. 28: Graf počtu rázů při upnutých třech lištách

Obě destičky dosáhly při upnutých třech lištách mezní hodnoty počtu rázů $R = 6000$, tudíž byly označeny za vyhovující. Důvodem výdrže obou destiček může být nižší řezná rychlost z důvodu bezpečnosti při nevyvážení přípravku.



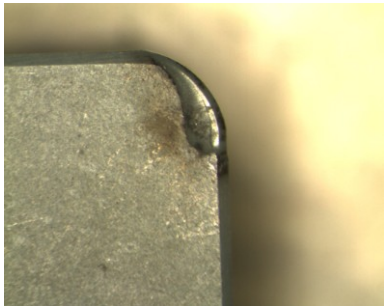
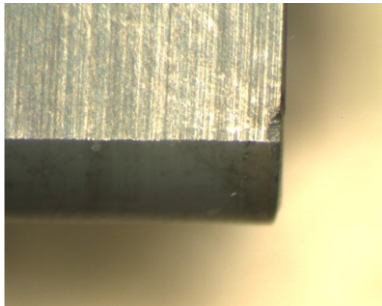
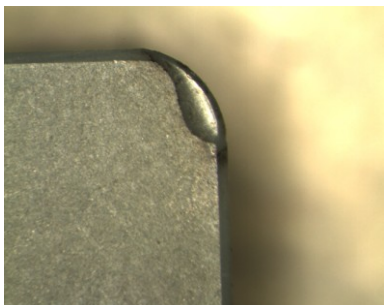
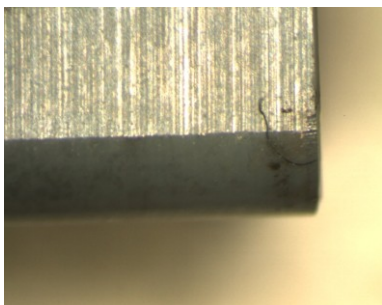

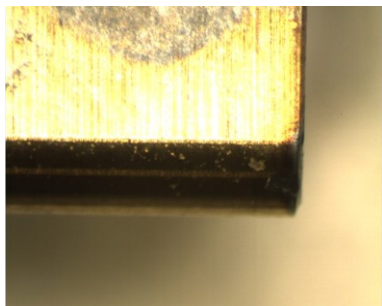
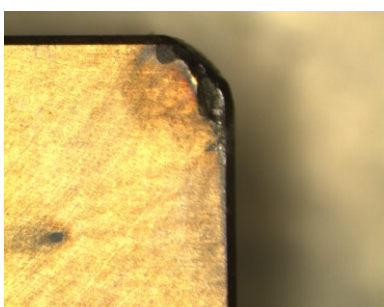
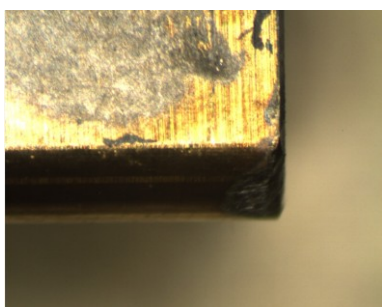
Obr. 29: Graf hodnot střední aritmetické úchylky profilu Ra při upnutých třech lištách



Obr. 30: Graf hodnot nejvyšší výšky profilu Rz při upnutých třech lištách

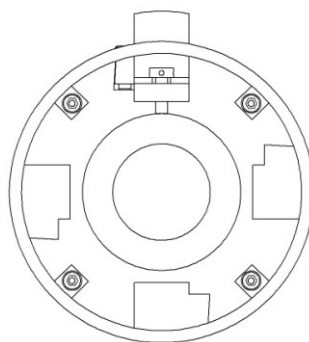
Při upnutých třech lištách se střední aritmetická úchylka profilu Ra obroběných lišt pohybovala podobně u obou testovaných destiček, v jednom případě měla hodnoty lepší destička D420, v druhém destička LX11. Destička D420 dosáhla lepších hodnot největší výšky profilu Rz.

Tab. 14: Snímky opotřebení destiček při třech upnutých lištách

D420			
Označení destičky	Čelo destičky	Označení destičky	Hřbet destičky
3·		3·	
3··		3··	
LX11			
Označení destičky	Čelo destičky	Označení destičky	Hřbet destičky
3·		3·	
3··		3··	

4.4 Přípravek s jednou upnutou lištou

Testovány byly dva typy destiček (D420 a LX11) při řezné rychlosti $294 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a posuvu $f = 0,2 \text{ mm}$ a hloubkou řezu $a_p = 1 \text{ mm}$. Byla vypočtena kritická vzdálenost, která odpovídá hodnotě $R = 6000$ rázů, kdy je destička prohlášena za vyhovující (v případě jedné upnuté lišty $l = 1200 \text{ mm}$). Pokud destička této kritické vzdálenosti dosáhla, testování se ukončilo. Při zničení destičky byla zaznamenána vzdálenost l , kterou destička obrobila. Ze vztahu (1) byl následně vypočten počet rázů. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce včetně aritmetického průměru hodnot a směrodatné odchylky.



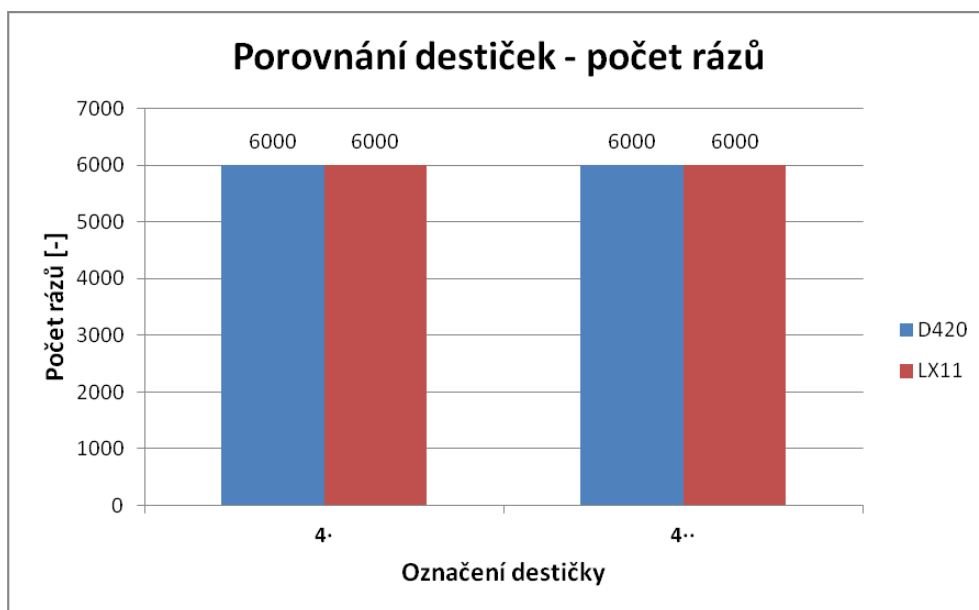
Obr. 31: Schéma upnutí jedné lišty

Tab. 15: Naměřené hodnoty při jedné upnuté liště pro destičku D420

D420								
1 lišta, $v_c = 294 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$								
Označení	4•				4••			
Parametry	l [mm]	R [-]	R_a [μm]	R_z [μm]	l [mm]	R [-]	R_a [μm]	R_z [μm]
1	1200	6000	1,60	5,7	1200	6000	1,75	6,2
2	1200	6000	1,74	6,3	1200	6000	1,63	6,2
3	1200	6000	1,77	6,6	1200	6000	1,86	6,1
4	1200	6000	1,87	6,1	1200	6000	1,72	5,9
5	1200	6000	1,77	6,0	1200	6000	1,74	6,2
Aritmetický průměr	1200	6000	1,75	6,14	1200	6000	1,74	6,12
Směrodatná odchylka	0	0	0,04	0,15	0	0	0,04	0,06

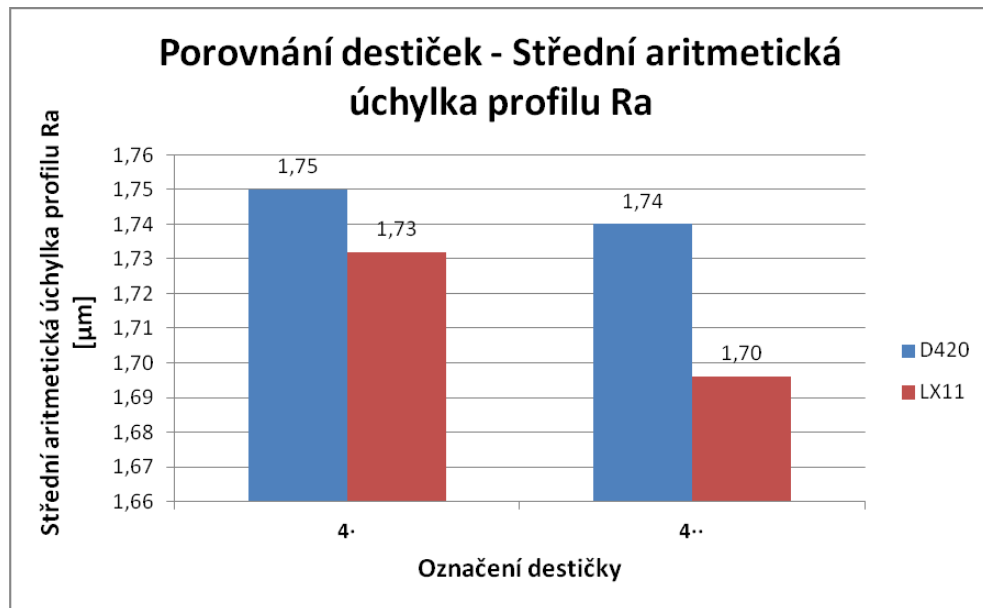
Tab. 16: Naměřené hodnoty při jedné upnuté liště pro destičku LX11

LX11								
1 lišta, $v_c = 294 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$								
Označení	4·				4··			
Parametry	I [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]	I [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	1200	6000	1,69	6,6	1200	6000	1,69	6,3
2	1200	6000	1,78	6,4	1200	6000	1,64	6,1
3	1200	6000	1,69	6,4	1200	6000	1,77	6,3
4	1200	6000	1,71	6,2	1200	6000	1,72	6,0
5	1200	6000	1,79	5,8	1200	6000	1,66	6,1
Aritmetický průměr	1200	6000	1,73	6,28	1200	6000	1,70	6,16
Směrodatná odchylka	0	0	0,02	0,14	0	0	0,02	0,06

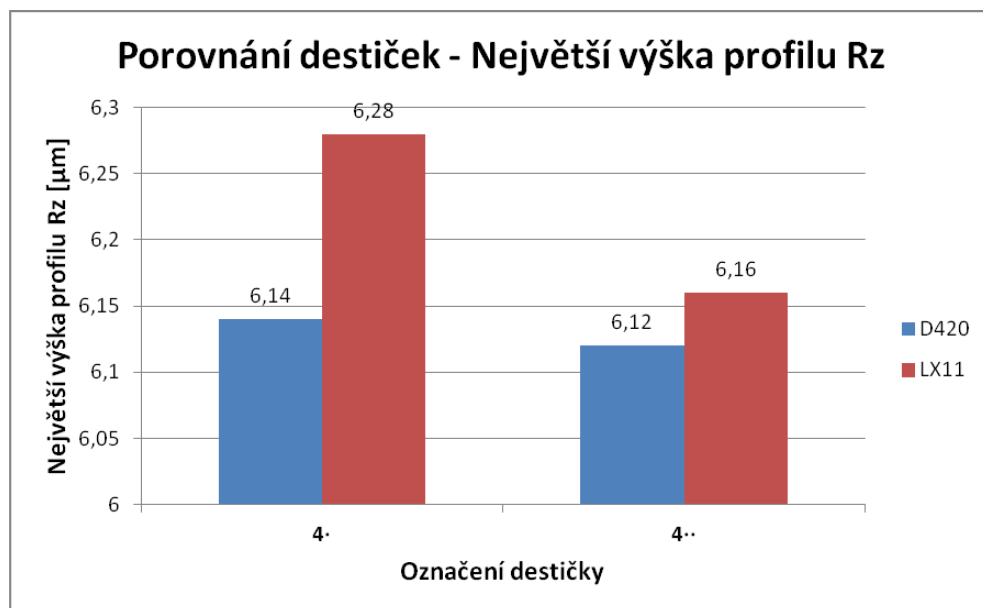


Obr. 32: Graf počtu rázů při upnuté jedné liště

Obě destičky vydržely při upnuté jedné liště mezní hodnotu počtu rázů $R = 6000$ a byly prohlášeny za vyhovující. Důvodem může být stejně jako při upnutých třech lištách nižší řezná rychlost.



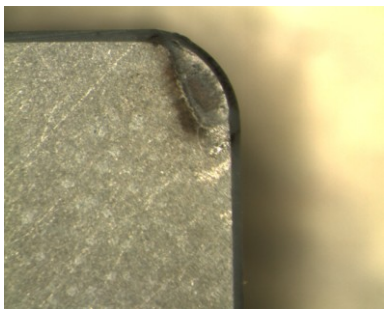
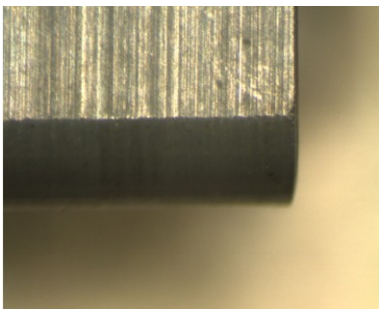

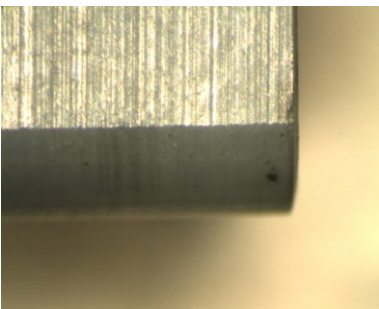
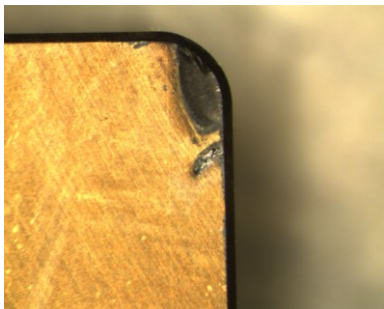
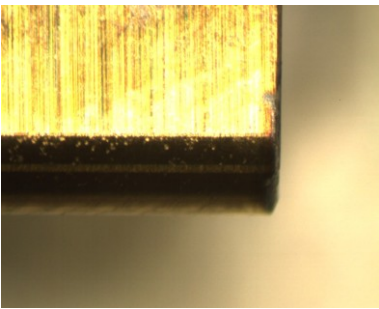
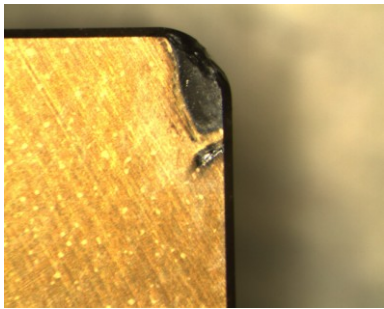
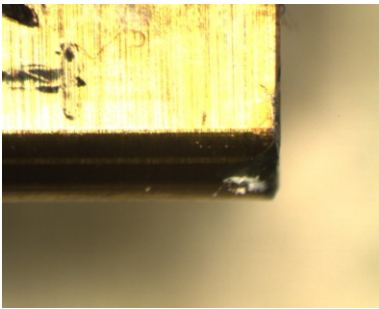
Obr. 33: Graf hodnot střední aritmetické úchylky profilu Ra při upnutí jedné liště



Obr. 34: Graf hodnot nejvyšší výšky profilu Rz při upnutí jedné liště

Mírně lepších výsledků střední aritmetické úchylky profilu Ra obrobených lišt s upnutou jednou lištou dosáhla destička LX11, rozdíly hodnot jsou však zanedbatelné. Hodnoty největší výšky profilu Rz měla mírně lepší destička D420.

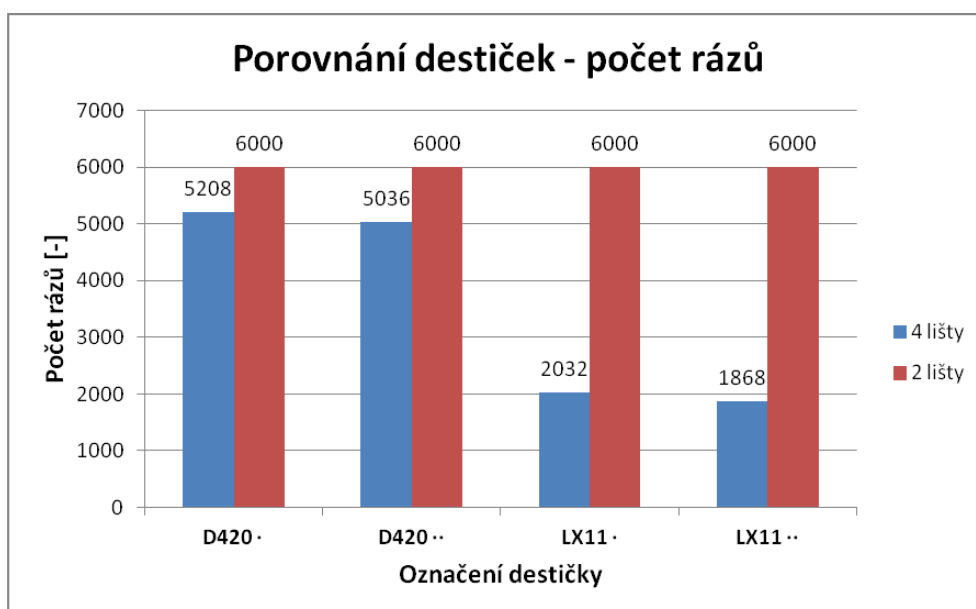
Tab. 17: Snímky opotřebení destiček při jedné upnuté liště

D420			
Označení destičky	Čelo destičky	Označení destičky	Hřbet destičky
4•		4•	
4••		4••	
LX11			
Označení destičky	Čelo destičky	Označení destičky	Hřbet destičky
4•		4•	
4••		4••	

4.5 Porovnání metod mezi sebou

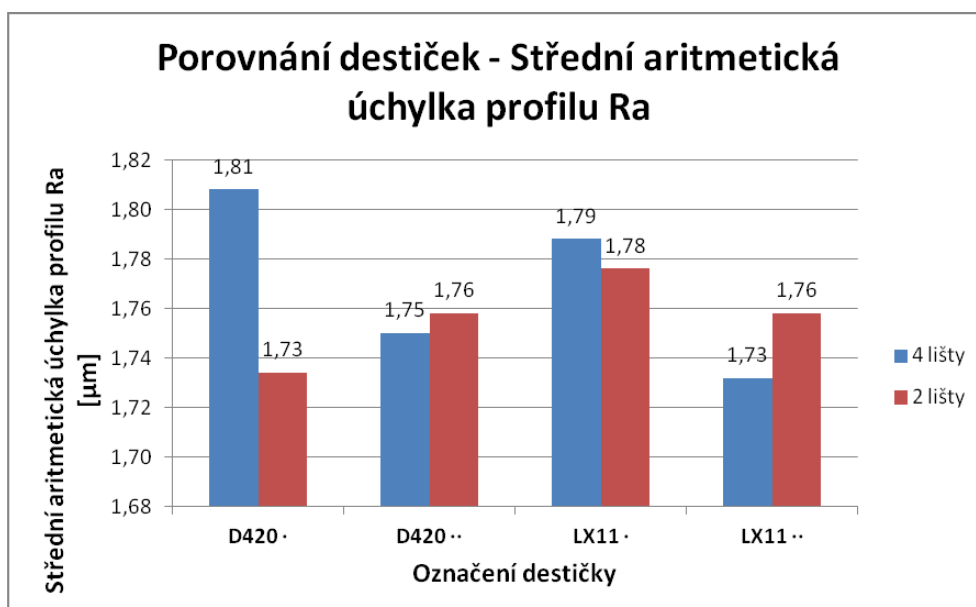
Vzhledem k rozdílným řezným rychlostem jsou porovnatelné vždy jen dvě metody mezi sebou. Stejně řezné rychlosti a tudíž i možnost porovnání jsou u metod se čtyřmi upnutými lištami a se dvěma upnutými lištami. Stejně tak jsou porovnatelné metody se třemi upnutými lištami a s jednou upnutou lištou. Metody jsou porovnány z hlediska počtu rázů a z hlediska parametrů drsnosti. Parametry drsnosti ve všech případech vycházely obdobně (viz předchozí podkapitoly).

4.5.1 Porovnání metod se čtyřma a dvěma upnutými lištami

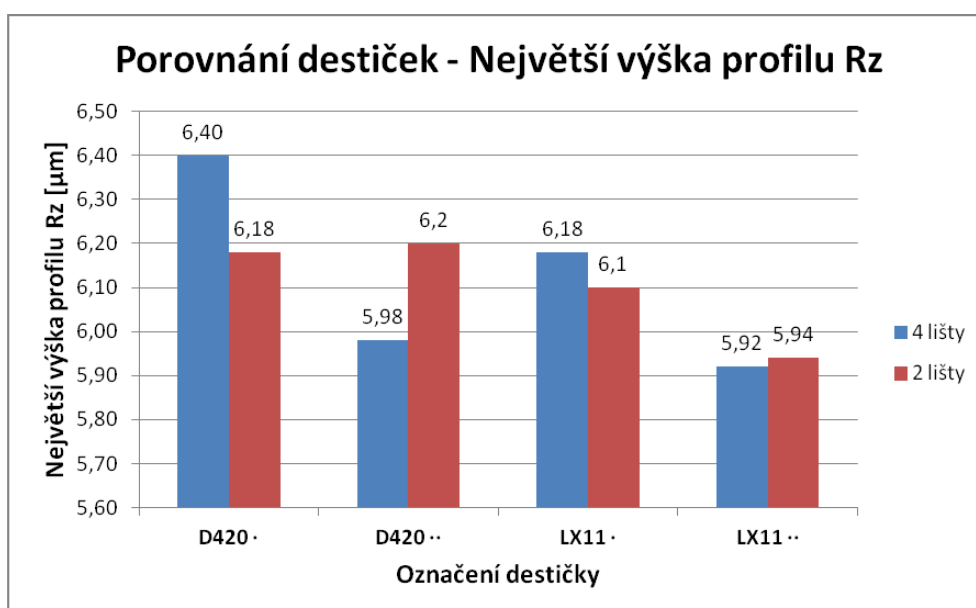


Obr. 35: Porovnání počtu rázů u metod se čtyřmi upnutými lištami a se dvěma upnutými lištami

Při porovnání metod se čtyřmi upnutými lištami a se dvěma upnutými lištami se došlo k závěru, že lépe při experimentu obstála destička nepovlakovaná, D420. Při upnutí čtyř lišt vydržela destička D420 více než dvojnásobný počet rázů než destička LX11. Při upnutí dvou lišt obě destičky vydržely mezní hodnotu rázů $R = 6000$. Důvodem je nepoměr doby, kdy je destička v záběru a mimo záběr. Během jedné otáčky přípravku byla destička vystavena dvěma rázům a byla delší dobu mimo záběr, kdežto při čtyřech upnutých lištách dosáhla během jedné otáčky čtyř rázů.



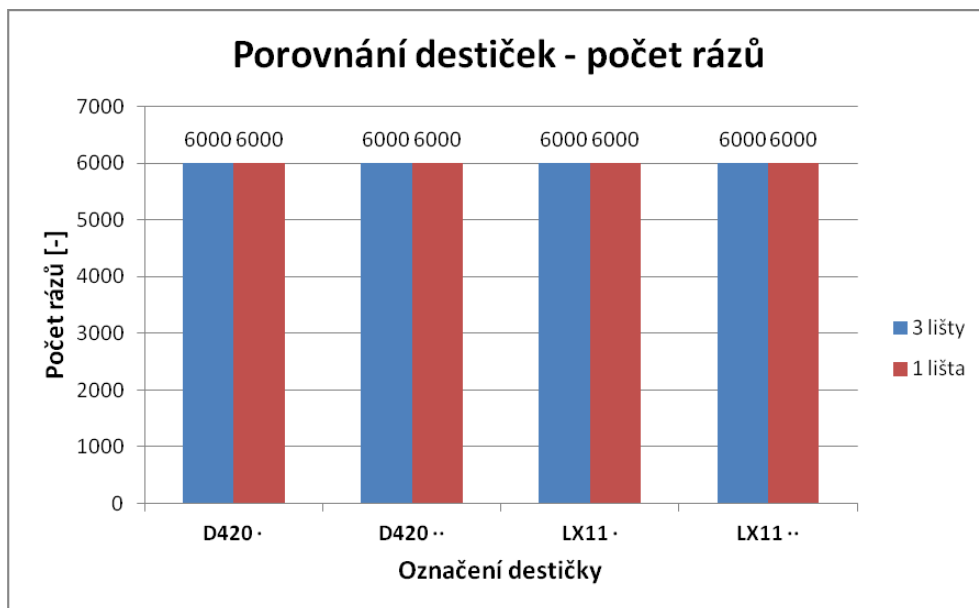
Obr. 36: Porovnání střední aritmetické úchylky profilu Ra u metod se čtyřmi upnutými lištami a se dvěma upnutými lištami



Obr. 37: Porovnání nejvyšší výšky profilu Rz u metod se čtyřmi upnutými lištami a se dvěma upnutými lištami

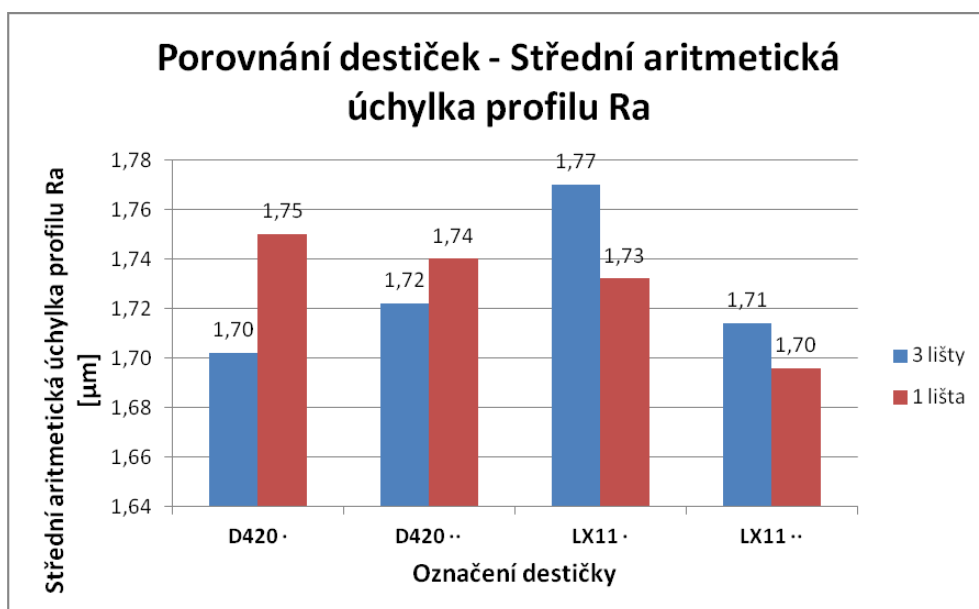
Naměřené parametry drsnosti střední aritmetické úchylky profilu Ra a nejvyšší výšky profilu Rz při porovnání metod se čtyřmi a dvěma upnutými lištami vycházejí obdobně a rozdíly lze téměř zanedbat.

4.5.2 Porovnání metod se třema a jednou upnutou lištou

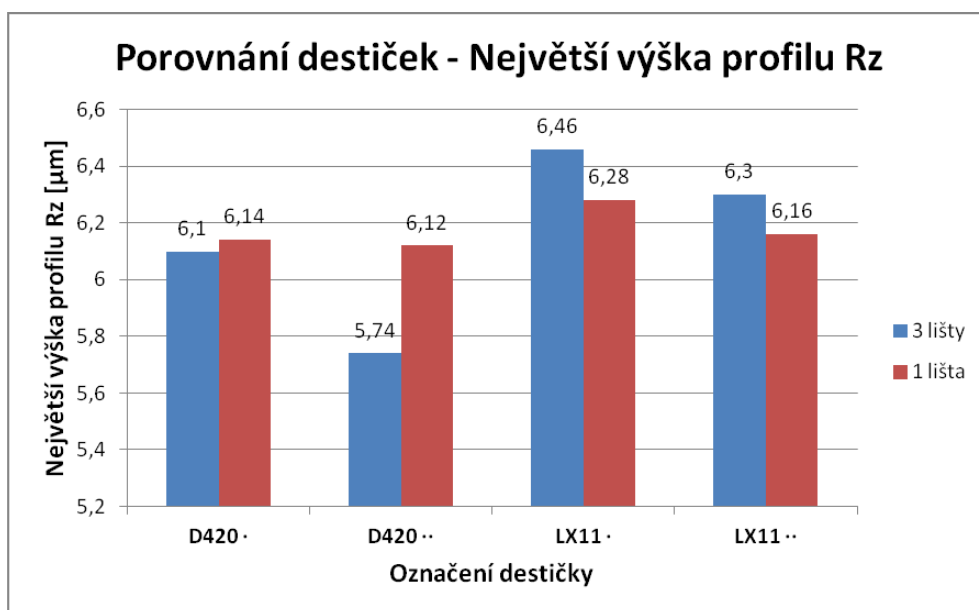


Obr. 38: Porovnání počtu rázů u metod se třemi upnutými lištami a s jednou upnutou lištou

Z grafu vyplývá, že při experimentu se třemi upnutými lištami a s jednou upnutou lištou obě destičky dosáhly mezní počet rázů $R = 6000$. Důvodem je menší rezná rychlost oproti předchozím metodám.



Obr. 39: Porovnání střední aritmetické úchylky profilu Ra u metod se třema upnutými lištami a s jednou upnutou lištou



Obr. 40: Porovnání nejvyšší výšky profilu Rz u metod se třema upnutými lištami a s jednou upnutou lištou

Naměřené parametry drsnosti střední aritmetické úchylky profilu Ra a nejvyšší výšky profilu Rz při porovnání metod se třemi upnutými lištami a jednou upnutou lištou vycházejí obdobně a rozdíly lze téměř zanedbat.

5 ZÁVĚR

Tato diplomová práce si kladla za úkol seznámit čtenáře s keramickými řeznými materiály, jejich použitím a rozšířením do technické praxe, zejména při použití obrábění přerušovaným řezem. Experimentálně bylo prováděno měření při obrábění přerušovaným řezem. Díky usilovnému výzkumu a vývoji zaznamenaly keramické řezné materiály velký pokrok v použitelnosti.

Experimenty probíhaly na přípravku, který byl vyvinut a vyroben v laboratořích katedry obrábění a montáže VŠB – TU Ostrava prostřednictvím grantu GAČR č. 101/93/0129. Testování probíhalo v různorodých podmínkách – při upnutí libovolného počtu lišt.

Byl zkoumán počet rázů, kterým byla destička během testování vystavena, než dosáhla zničení nebo mezní hodnoty počtu rázů $R = 6000$. Dále byly měřeny parametry drsnosti střední aritmetické úchylky profilu R_a a nejvyšší výšky profilu R_z . Dosažené výsledky jsou zaznamenány v tabulkách a jsou také graficky vyhodnoceny. Poškození destiček bylo vyhodnoceno pomocí mikroskopu Itracomicro a drsnost povrchu byla změřena pomocí drsnoměru Mitutoyo Surfes 211.

V případech čtyř a dvou upnutých lišt bylo testování prováděno při řezné rychlosti $v_c = 425 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Při upnutí tří a jedné lišty bylo zapotřebí z důvodu bezpečnosti řeznou rychlost snížit na $v_c = 294 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. V obou případech testování probíhalo při posuvu $f = 0,2 \text{ mm}$ a hloubce řezu $a_p = 1 \text{ mm}$. Experiment byl uskutečňován na dvou typech keramických řezných destiček – Saint – Gobain Advanced Ceramics, typ D420 (nepovlakovaná) a Tungaloy America, typ LX11 (povlakovaná).

Při metodě testování se čtyřmi upnutými lištami a z hlediska vyhodnocení počtu rázů lépe obstála destička nepovlakovaná – D420. Dosáhla více než dvojnásobného počtu rázů oproti destičce LX11. Oba měřené parametry drsnosti střední aritmetické úchylky profilu R_a a nejvyšší výšky profilu R_z hovoří mírně pro destičku LX11. Tyto rozdíly hodnot jsou však zanedbatelné.

Při testování při dvou upnutých lištách obě destičky dosáhly mezní hodnoty počtu rázů $R = 6000$. Testování bylo ukončeno a destičky byly označeny za vyhovující. Důvodem je rozdílná doba, kdy je destička v záběru a mimo záběr oproti metodě se čtyřmi upnutými lištami. Destička D420 vykazovala lepší hodnoty parametru drsnosti střední aritmetické úchylky profilu R_a , respektive v jednom případě obě destičky dosáhly stejné hodnoty. Parametr drsnosti nejvyšší výšky profilu R_z byl lepší u destičky LX11.

Při třech upnutých lištách dosáhly obě destičky limitního počtu rázů $R = 6000$. Byly označeny za vyhovující. Důvodem je menší řezná rychlost, která byla zvolena z důvodu bezpečnosti při nevyvážení přípravku. Destička D420 měla lepší hodnoty parametrů drsnosti střední aritmetické úchyly profilu R_a a nejvyšší výšky profilu R_z (v jednom případě měla lepší hodnoty střední aritmetické úchyly profilu R_a destička LX11).

Obě testované destičky dosáhly při experimentu při jedné upnuté liště mezního počtu rázů – $R = 6000$. Byly proto prohlášeny za vyhovující. Důvodem je stejně jako při metodě tří upnutých lišt menší řezná rychlost z důvodu bezpečnosti při nevyvážení přípravku. Hodnoty drsnosti střední aritmetické úchyly profilu R_a má mírně lepší destička LX11, hodnoty drsnosti nejvyšší výšky profilu R_z má lepší destička D420.

Rozdíly ve výsledcích měření parametrů drsnosti střední aritmetické úchyly profilu R_a a nejvyšší výšky profilu R_z jsou v případě obou destiček zanedbatelné.

Testováním bylo prokázáno použitelnost vyměnitelných břitových destiček z řezné keramiky i při obrábění přerušovaným řezem.

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Robertovi Čepovi, Ph. D. za odborné vedení a konzultace během studia. Dále bych chtěl poděkovat Žiliské univerzitě za poskytnutí prostor, strojů a vedení při experimentech.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČEP, Robert. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu*. Ostrava, 2005. 101 s. Disertační práce. FS VŠB-TUO.
- [2] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha : MM Publishing Praha, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-5.
- [3] JURKO, Jozef; ZAJAC, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění : II. část - Nástrojové materiály*. Žilina : MEDIA/ST, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] HUMÁR, Anton. *Technologie I : Technologie obrábění - 1. část*. Brno : Vysoké učení technické, ústav strojírenské technologie , 2003. 138 s.
- [5] HUMÁR, Anton. *Slinuté karbidy a řezná keramika*. Brno : CCB Brno, 1995. 460 s. ISBN 04-246-86.
- [6] REINER, Jan. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky na simulátoru přerušovaného řezu*. Ostrava, 2009. 73 s. Diplomová práce. FS VŠB-TUO.
- [7] KYNCL, Ladislav. *Testy keramických řezných nástrojů Greenleaf na materiálu C45 na simulátoru přerušovaného řezu*. Ostrava, 2011. 38 s. Bakalářská práce. FS VŠB-TUO.
- [8] Saint – Gobain Advanced Ceramics. *Břitové destičky z řezné keramiky* [online]. c2007 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.sgac-turnov.cz/index.php?content=210&lang=cs>>.
- [9] Tungaloy America. *LX11* [online]. c2006 [cit. 2012-04-06]. Dostupné z WWW: <http://www.tungaloyamerica.com/htm/dtl_lx11_h_crmcs_wm.htm>.
- [10] Tungaloy America. *LX11 Ceramic Hard Turning* [online]. c2002 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z WWW: <<http://www.tungaloyamerica.com/pdf/HOT%20Memo%20%20LX11-W.pdf>>.
- [11] JAŠŠ, Pavel. *Zkoušky odolnosti vyměnitelných břitových destiček ze slinutých karbidů při přerušovaném řezu*. Ostrava, 2009. 108 s. Diplomová práce. FS VŠB-TUO.
- [12] MMspektrum. *Monolitní keramické frézovací nástroje* [online]. [cit 2012-04-04]. Dostupné z WWW: < <http://www.mmspektrum.com/clanek/monolitni-keramicke-frezovaci-nastroje.html> >.

- [13] BROOKES, K.J.A. *World Directory and Handbrook of Hardmetals and Hard Materials* .Sixth Edition. Hertfordshire, United Kingdom: International Carbide Data, 1994. 211 + 531 p. ISBN 0-9508995-4-2.
- [14] MMspektrum. *Odolnost slinutých karbidů proti teplotním a mechanickým rázům* [online]. [cit 2012-04-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/odolnost-slinutych-karbidu-proti-teplotnim-a-mechanickym-razum-2.html>>.
- [15] Oddělení povrchového inženýrství. *Keramika* [online]. [cit 2012-04-06]. Dostupné z WWW: < <http://www.ateam.zcu.cz/keramika.pdf> >
- [16] LAZÁRKOVÁ, Veronika. *Řezná keramika a její efektivní využití*. Brno, 2009. 53 s. Diplomová práce. Fakulta strojního inženýrství, ústav strojírenské technologie. Vysoké učení technické v Brně.
- [17] MMspektrum. *Opatřebení keramických vyměnitelných břitových destiček* [online]. [cit 2012-04-10]. Dostupné z WWW: < <http://www.mmspektrum.com/clanek/opotrebeni-keramickych-vymenitelných-britovych-desticek.html> >.
- [18] LEE, X.S. *Ceramic cutting tools - An Introduction*. Key Engineering Materials . 1994, vol. 96, pp. 1-18.
- [19] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie – část 1*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2008. 112 s. ISBN 978 – 80 – 248 – 0671 - 6

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Sortiment keramických řezných destiček společnosti Saint – Gobain Advanced Ceramics, s.r.o. [8]	6
Obr. 2: Hodnoty vybraných vlastností řezných materiálů [4]	7
Obr. 3: Rozdělení a značení řezné keramiky	8
Obr. 4: Schéma přípravku pro příčné soustružení přerušovaným řezem [6]	14
Obr. 5: Schéma přípravku pro podélné soustružení přerušovaným řezem	15
Obr. 6: Model přípravku	15
Obr. 7: Schéma přípravku s podélnými drážkami pro soustružení přerušovaným řezem [7]	16
Obr. 8: Schéma frézovacího přípravku pro obrábění přerušovaným řezem [6]	17
Obr. 9: Schéma metody vodorovného obrážení [6]	18
Obr. 10: Použité lišty	20
Obr. 11: Úprava lišt před měřením [6]	21
Obr. 12: Obráběcí stroj	21
Obr. 13: Přípravek pro přerušovaný řez	22
Obr. 14: Nástrojový držák CSRNR 2525 M12 – K	23
Obr. 15: Destičky DISAL D420	24
Obr. 16: Destičky LX11	24
Obr. 17: Mikroskop Itracomicro	25
Obr. 18: Drsnoměr Mitutoyo Surf test - 211	26
Obr. 19: Schéma upnutí čtyř lišt	29
Obr. 20: Graf počtu rázů při upnutých čtyřech lištách	30
Obr. 21: Graf hodnot střední aritmetické úchyly profilu Ra při upnutých čtyřech lištách	31
Obr. 22: Graf hodnot nejvyšší výšky profilu Rz při upnutých čtyřech lištách	31
Obr. 23: Schéma upnutí dvou lišt	33
Obr. 24: Graf počtu rázů při upnutých dvou lištách	34
Obr. 25: Graf hodnot střední aritmetické úchyly profilu Ra při upnutých dvou lištách	35
Obr. 26: Graf hodnot nejvyšší výšky profilu Rz při upnutých dvou lištách	35
Obr. 27: Schéma upnutí tří lišt	37
Obr. 28: Graf počtu rázů při upnutých třech lištách	38
Obr. 29: Graf hodnot střední aritmetické úchyly profilu Ra při upnutých třech lištách	39
Obr. 30: Graf hodnot nejvyšší výšky profilu Rz při upnutých třech lištách	39
Obr. 31: Schéma upnutí jedné lišty	41
Obr. 32: Graf počtu rázů při upnuté jedné lišti	42
Obr. 33: Graf hodnot střední aritmetické úchyly profilu Ra při upnuté jedné lišti	43

Obr. 34: Graf hodnot nejvyšší výšky profilu Rz při upnuté jedné liště	43
Obr. 35: Porovnání počtu rázů u metod se čtyřmi upnutými lištami a se dvěma upnutými lištami	45
Obr. 36: Porovnání střední aritmetické úchyly profilu Ra u metod se čtyřmi upnutými lištami a se dvěma upnutými lištami	46
Obr. 37: Porovnání nejvyšší výšky profilu Rz u metod se čtyřmi upnutými lištami a se dvěma upnutými lištami	46
Obr. 38: Porovnání počtu rázů u metod se třemi upnutými lištami a s jednou upnutou lištou	47
Obr. 39: Porovnání střední aritmetické úchyly profilu Ra u metod se třemi upnutými lištami a s jednou upnutou lištou	48
Obr. 40: Porovnání nejvyšší výšky profilu Rz u metod se třemi upnutými lištami a s jednou upnutou lištou	48

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Hlavní oblasti využití nástrojů z řezné keramiky [3].....	11
Tab. 2: Řezné parametry.....	19
Tab. 3: Chemické složení materiálu C45	20
Tab. 4: Mechanické vlastnosti materiálu C45	20
Tab. 5: Tabulka obrobených délek I při limitním počtu rázů	27
Tab. 6: Naměřené hodnoty při čtyřech upnutých lištách pro destičku D420	29
Tab. 7: Naměřené hodnoty při čtyřech upnutých lištách pro destičku LX11	30
Tab. 8: Snímky opotřebení destiček při čtyřech upnutých lištách.....	32
Tab. 9: Naměřené hodnoty při dvou upnutých lištách pro destičku D420.....	33
Tab. 10: Naměřené hodnoty při dvou upnutých lištách pro destičku LX11	34
Tab. 11: Snímky opotřebení destiček při dvou upnutých lištách.....	36
Tab. 12: Naměřené hodnoty při třech upnutých lištách pro destičku D420	37
Tab. 13: Naměřené hodnoty při třech upnutých lištách pro destičku LX11.....	38
Tab. 14: Snímky opotřebení destiček při třech upnutých lištách	40
Tab. 15: Naměřené hodnoty při jedné upnuté lišti pro destičku D420	41
Tab. 16: Naměřené hodnoty při jedné upnuté lišti pro destičku LX11	42
Tab. 17: Snímky opotřebení destiček při jedné upnuté lišti.....	44